

PICMA® Multilayer Piezoaktoren

Zuverlässigkeit, Lebensdauer, Effizienz



Piezelektrische Aktoren von PI Ceramic Führend in Piezotechnologie

PI Ceramic ist eines der weltweit führenden Unternehmen auf dem Gebiet aktorischer und sensorischer Piezoprodukte. Derzeit beschäftigt PI Ceramic über 150 Mitarbeiter, davon allein 30 Ingenieure, in der Piezoforschung, -entwicklung und Keramikproduktion. Breitgefächertes Know-How im komplexen Entwicklungs- und Herstellungsprozess von funktionskeramischen Bauelementen, verbunden mit modernster Ausstattung, gewährleistet die hohe Qualität, Flexibilität und Liefertreue.

Kernkompetenzen von PI Ceramic

- Standard-Piezokomponenten für Aktor-, Ultraschall- und Leistungsultraschall-Anwendungen, Systemlösungen
- Fertigung von Bauelementen bis zu mehreren 100.000 Stück pro Jahr
- Entwicklung kundenspezifischer Lösungen
- Hohe Flexibilität im technologischen Prozess, kurze Lieferzeiten
- Alle Schlüsseltechnologien und modernste Ausrüstungen für die Keramikfertigung im Haus verfügbar
- ISO 9001-2000, ISO 14001 und OHSAS 18001 zertifiziert

PI Ceramic liefert piezokeramische Lösungen für alle wichtigen High-Tech Märkte:

- Industrieautomation
- Halbleiterindustrie
- Medizintechnik
- Maschinenbau und Feinwerktechnik
- Luft- und Raumfahrt
- Automobilbereich

Preisgekrönte PICMA® Technologie: Revolution in Sachen Langlebigkeit

PICMA® Piezoaktoren von PI Ceramic sind weltweit die einzigen monolithischen Multilayer-Piezoaktoren mit vollständig keramischer Isolierung. Die patentierte PICMA® Technologie



ermöglicht die Herstellung von Komponenten mit besonders langer Lebensdauer. Jahrzehntelange Erfahrung mit PICMA® Serien in verschiedensten Anwendungen zeigen eine Erhöhung der Lebensdauer um mindestens einen Faktor 10 verglichen mit zuvor eingesetzten herkömmlichen, polymerisolierten Multilayer-Piezoaktoren.

Flexibilität mit keramischer Rundumversiegelung

Mit modernster Produktionstechnik ist PI Ceramic in der Lage, nahezu beliebige Formen von PICMA® Multilayer-Piezoaktoren zu fertigen. Dabei sind alle Flächen von einer vollkeramischen Isolierschicht umgeben. Denkbar sind nicht nur variable Grundformen, z.B. runde oder dreieckige Querschnitte, sondern auch isolierte Innenbohrungen an Biegern, Chips oder Stapelaktoren, wodurch die Integration vereinfacht werden kann.

Hermetische Kapselung für noch höhere Sicherheit

Optional sind die PICMA® Aktoren in einer eingekapselten Variante erhältlich. Hermetisch eingeschweißt in einer kompakten Edelstahl-Hülle trotz dieser Aktoren extremen Umgebungsbedingungen wie z.B. Spritzwasser bzw. sehr hohen Luftfeuchtigkeiten.

PICMA® Anwendungsbeispiele

- Präzisionsmechanik / -fertigung
- Schnelle Schalter
- Aktive und adaptive Optik
- Aktive Schwingungsdämpfung
- Adaptronik, Smart Materials
- Pneumatische und hydraulische Ventile
- Metrologie / Interferometrie
- Life-Science, Biotechnologie
- Nanotechnologie



Patentierte Technologie für maximale Betriebssicherheit und Lebensdauer: PICMA®

PICMA®: Zuverlässigkeit und kontinuierliche Weiterentwicklung

Keramisch isolierte Piezoaktoren bieten überlegene Lebensdauer

PICMA® Multilayer-Piezoaktoren basieren auf einer speziellen PZT-Keramik (Bleizirkonat-Bleitanat), welche die gewünschten Eigenschaften der Bauelemente wie hohe Steifigkeit, geringe elektrische Kapazität, hohe spezifische Auslenkung, geringe Last- und Temperaturabhängigkeit der Spezifikationen und lange Lebensdauer ideal kombiniert.

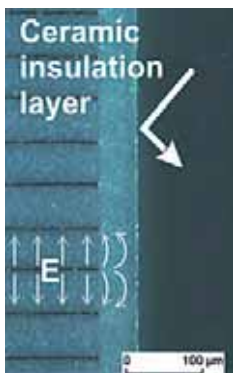


Abb. 1: Die keramische Isolierschicht verhindert das Eindringen von Wassermolekülen und schützt die empfindlichen Innenelektroden zuverlässig vor mechanischen Beschädigungen und Verschmutzungen.

Einflüsse auf die Lebensdauer eines piezokeramischen Aktors

Drei wesentliche Faktoren beeinflussen die Lebensdauer der Piezokeramik in Positionieranwendungen: Luftfeuchtigkeit, Betriebsspannung und Temperatur.

Beispielsweise können durch die eindringende Feuchtigkeit und das anliegende elektrische Feld elektrochemische Transportvorgänge im Bauelement einsetzen, die bei höheren Temperaturen beschleunigt werden. Die Folge ist ein Kurzschluss zwischen den Elektroden, der den Aktor irreparabel zerstören kann.

Die konkrete Anwendung bestimmt, in welchem Maß die einzelnen Faktoren zur Wirkung kommen.

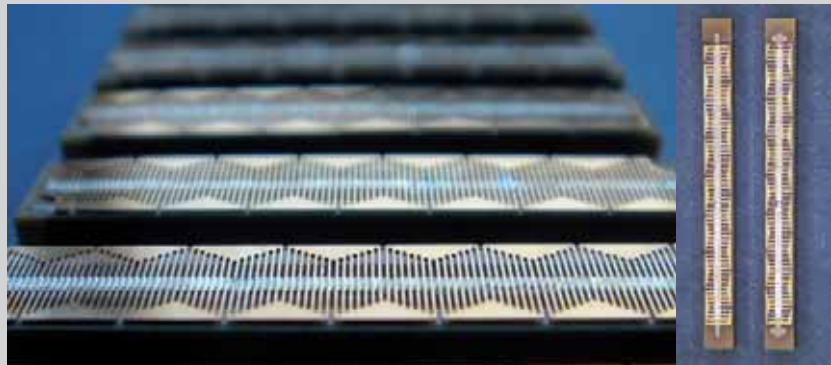


Abb. 2: Patentierte, mäandrierende Außenelektroden

Kontaktierung für hohe Ströme

Forschungen zu den Ansteuerelektroden führten zu einem weiter verbesserten Design. Die patentierte, mäandrierende Form der Außenelektroden sorgt für eine gleichmäßige Zuleitung des elektrischen Stromes zu den Innenelektroden (Abb. 2). Die Kontaktierung ist dabei so gewählt, dass sie auch bei hohen Strömen bis zu 20 A und mehr elektrisch stabil und mechanisch flexibel bleibt, und damit eine besonders dynamische Ansteuerung ermöglicht. Dies verbessert die Lebensdauer des Aktors in Anwendungen mit schnell wechselnden Feldern.

Die inneren Elektroden und die Keramik werden gemeinsam gesintert (Co-Fired-Technologie), wodurch ein monolithischer Piezokeramikblock entsteht (Abb.1). Dieser ist durch eine vollkeramische Isolierschicht vor Luftfeuchtigkeit und gegen Ausfälle durch erhöhte Leckstrom geschützt. PICMA® Aktoren sind dadurch konventionellen, polymerisolierten Multilayer-Piezoaktoren in Zuverlässigkeit und Lebensdauer weit überlegen. Der vollkeramische Aufbau bedingt außerdem eine hohe Resonanzfrequenz, wodurch sich die Aktoren ideal für den hochdynamischen Betrieb eignen.

Großer Temperaturbereich – optimale UHV Kompatibilität – minimales Ausgasen – neutral in Magnetfeldern

Die besonders hohe Curietemperatur von 320 °C ermöglicht einen nutzbaren Temperaturbereich von bis zu 150 °C, weit jenseits der 80 °C Grenze, die für konventionelle Multilayeraktoren gilt. Damit, und durch die ausschließliche Verwendung anorganischer Materialien, ergeben sich optimale Voraussetzungen für den Einsatz im Ultra-Hochvakuum: kein Ausgasen, und

hohe Ausheiztemperaturen. PICMA® Piezoaktoren arbeiten, bei reduziertem Stellweg, sogar im kryogenen Temperaturbereich.

Durch den Aufbau aus ausnahmslos nicht-ferromagnetischen Materialien besitzen die Aktoren einen extrem geringen Restmagnetismus im Bereich weniger Nanotesla.

Niedrige Betriebsspannung

Im Gegensatz zu den meisten handelsüblichen Multilayer-Piezoaktoren erreichen PICMA® Aktoren bei Betriebsspannungen deutlich unter 150 V ihre Nennauslenkung. Diese Eigenschaft wird durch die Verwendung eines besonders feinkörnigen Keramikmaterials erreicht, welches eine geringere Höhe der Innenschichten zulässt. Die in diesem Dokument beschriebenen Produkte fallen zumindest teilweise unter den Schutz der folgenden Patente:

Deutsches Patent Nr. 10021919
 Deutsches Patent Nr. 10234787
 Deutsches Patent Nr. 10348836
 Deutsches Patent Nr. 102005015405
 Deutsches Patent Nr. 102007011652
 US Patent Nr. 7,449,077

Sicherheit mit PICMA®

Langzeittests belegen die überlegene Zuverlässigkeit

In Positionieranwendungen wird der Piezoaktor typischerweise mit konstanter Spannung betrieben, um eine Position über längere Zeit zu halten. Die Lebensdauer von Piezoaktoren wird dabei vor allem von der Spannung und der Luftfeuchtigkeit beeinflusst.

Keramische Schutzschicht

Wichtigster Schutz der PICMA® Aktoren vor eindringender Feuchtigkeit ist der monolithische Aufbau mit vollkeramischer Isolierschicht. Das Eindringen von Wassermolekülen wird wirksam unterdrückt, was Messungen zum Leckstrom eindrücklich belegen (Abb. 3). Erhöhte Werte sind ein Zeichen für die zunehmend schlechtere Isolationsfestigkeit und damit für die Verkürzung der Lebensdauer, wie polymerummantelte Aktoren sie zeigen.

Tests bei realer und extremer Belastung

Die hohe Zuverlässigkeit macht es praktisch unmöglich, die Lebensdauer von PICMA® Aktoren bei realen Einsatzbedingungen experimentell zu ermitteln. Zur Abschätzung der Lebensdauer dienen daher Prüfungen unter extremen Belastungsbedin-

Realitätsnahe Studie

Spannung	Ausfallrate für PICMA® Aktoren mit voll-keramischer Isolierung	Ausfallrate von herkömmlich polymerisolierten Aktoren
100 V DC	0% (rechnerische MTTF: 1,3.10E6 h)	75%
120 V DC	0% (rechnerische MTTF: 178.000 h)	100%
135 V DC	0% (rechnerische MTTF: 49.000 h)	100%
150 V DC	25% (rechnerische MTTF: 15.500 h)	100%

Tests unter realistischen Bedingungen bestätigen die besondere Zuverlässigkeit der keramischisolierten PICMA® Piezoaktoren klar. Hierbei wurden Multilayer-Aktoren bei gängigen Umgebungsbedingungen mit verschiedenen Gleichspannungen betrieben. Auch hier überzeugen PICMA® Aktoren mit Keramikisolierung deutlich: erst bei 150 V, d.h. weit oberhalb der ausgewiesenen Nennspannung, treten erste Ausfälle auf, während nach 18 Monaten Testzeit nur noch wenige herkömmlich polymerisolierte Piezoaktoren funktionsfähig sind. Testbedingungen: 22°C, 55% RH, Laufzeit 18 Monate (13.400 h)

gungen, die in Langzeit-Testreihen unter realen Bedingungen bestätigt werden (s. „Realitätsnahe Studie“).

Beschleunigte Lebensdauerprüfung

Eine erhöhte relative Luftfeuchtigkeit bei gleichzeitig hohen Umgebungstemperaturen und Ansteuerspannungen teilweise oberhalb des Nennspannungsbereichs führen hier zur beschleunigten Degradation der Piezokeramik. Die Randbedingungen werden anschließend über ein mathematisches Modell bereinigt und daraus

resultiert eine Angabe für die mittlere Lebensdauer (Mean Time To Failure, MTTF) im realen Einsatz. Herkömmlich polymerummantelte Piezoaktoren überstehen den Dauereinsatz bei erhöhter Luftfeuchtigkeit typischerweise ca. 30 Tage (Abb. 4), PICMA® Multilayer-Piezoaktoren arbeiten noch nach über vier Jahren zuverlässig!

Die Ergebnisse wurden an einer repräsentativen Stichprobe PICMA® 5 x 5 x 18 mm (P-885.50) ermittelt und sind typisch für das gesamte PICMA® Sortiment.

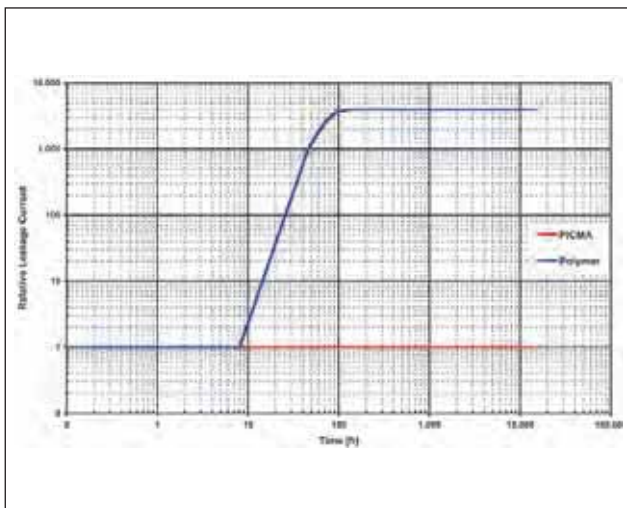


Abb. 3. PICMA® Piezoaktoren (Kurve unten, rot) im Vergleich mit polymerummantelten Multilayer-Piezoaktoren. Der hohe Isolationswiderstand der PICMA® Aktoren bleibt über mehrere Zeitdekaden stabil, während herkömmliche, polymerummantelte Aktoren bereits nach wenigen Stunden einen deutlich erhöhten Leckstrom zeigen. (Testbedingungen: 100 VDC, 25°C, 70% relative Luftfeuchtigkeit (RH))

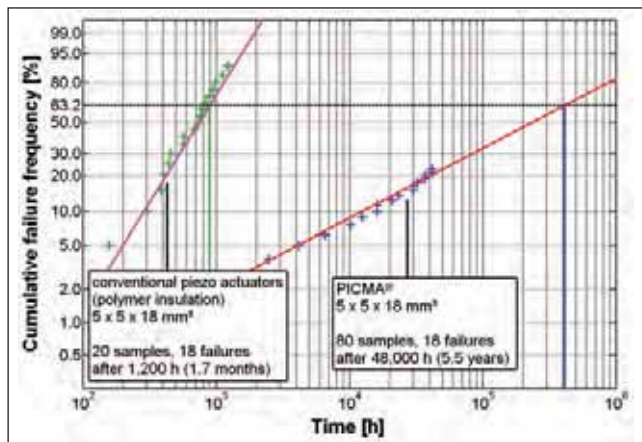


Abb. 4. Vergleich von PICMA® und herkömmlich mit einer Polymerummantelung isolierten Piezoaktoren. Ergebnisse eines beschleunigten Lebensdauertests mit erhöhter Luftfeuchtigkeit für beschleunigte Alterung. (Testbedingungen: 100 V DC, 22°C, 90% RH) Mit statistischen Methoden kann daraus auf Werte unter normalen klimatischen Betriebsbedingungen rückgeschlossen werden. Die extrapolierte mittlere Lebensdauer (MTTF) für PICMA® Aktoren liegt bei mehr als 400.000 h (ca. 45 Jahre). Alle polymerummantelten Vergleichsproben sind bereits nach spätestens 1600 Stunden ausgefallen (MTTF = 890 Stunden, ca. 1 Monat)

Die Berechnung der Lebensdauer

Einfach und zuverlässig

Die Untersuchungsergebnisse der PICMA® Aktoren im Dauereinsatz mit konstanter elektrischer Spannung helfen auch bei der Ermittlung einer zu erwartenden Lebensdauer unter definierten Anwendungsbedingungen.

Dabei müssen die einzelnen Einflussfaktoren in Betracht gezogen werden: Temperatur, relative Luftfeuchte und die angelegte Spannung. Umfassende Testreihen, die nach wie vor andauern, haben zu einer gründlichen Kenntnis der Abhängigkeiten geführt. Diese sind in den nebenstehenden Diagrammen dargestellt (Abb. 5).

Abschätzung für die Lebensdauer in der Applikation

In der gewählten vereinfachten Darstellung kann man direkt die mittlere Lebensdauer eines PICMA® Multilayeraktors bei den geplanten Einsatzbedingungen herleiten. Der Einfluss der einzelnen Faktoren lässt sich aus den Diagrammen ablesen, und die Lebensdauer in Stunden ergibt sich einfach als Produkt der drei abgelesenen Werte.

Diese Berechnung kann zudem dazu verwendet werden, um eine neue Applikation bereits in der Designphase bezüglich ihrer Lebensdauer zu optimieren. Ein Absenken der Ansteuerungsspannung oder die Kontrolle von Temperatur und Luftfeuchtigkeit mittels Spülluft oder Kapselung kann hier eine große Rolle spielen.

Besonders hoch ist der Einfluss der angelegten Spannung. Beispielsweise ist die zu erwartende Lebensdauer bei 80 V DC 10mal so hoch wie bei 100 VDC.

Beispiel

Die einfache Formel $MTTF = A_U \cdot A_T \cdot A_H$ erlaubt die schnelle Abschätzung der Zuverlässigkeit in Stunden.

Konkret: die Werte für 75 % RH ($A_H=14$), 100 V DC ($A_U=75$) und 45 °C ($A_T=100$) ergeben eine ungefähre mittlere Lebensdauer von 105.000 h, also über 11 Jahren (vgl. Markierung in den Diagrammen).

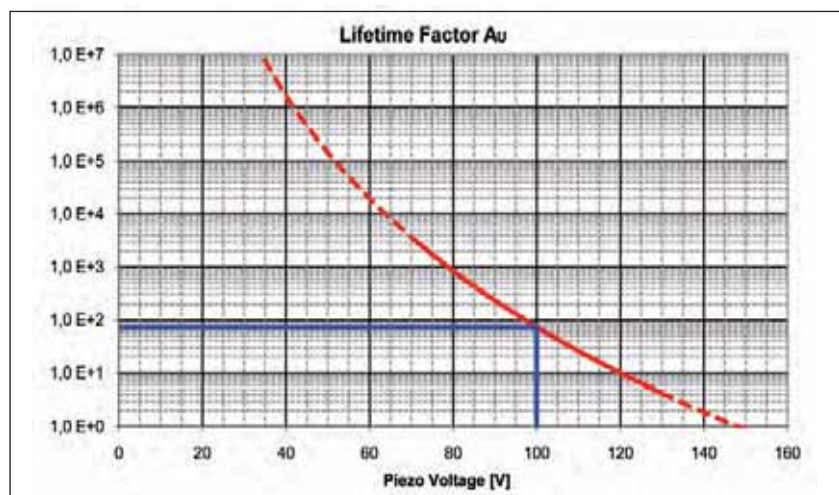
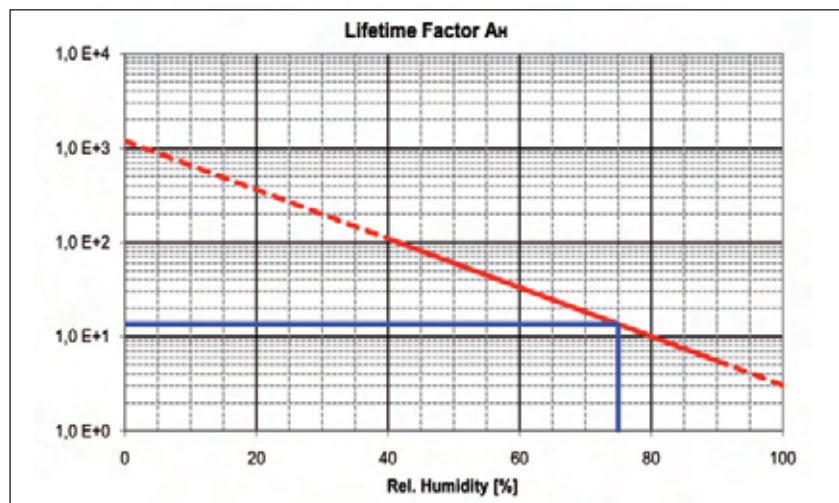
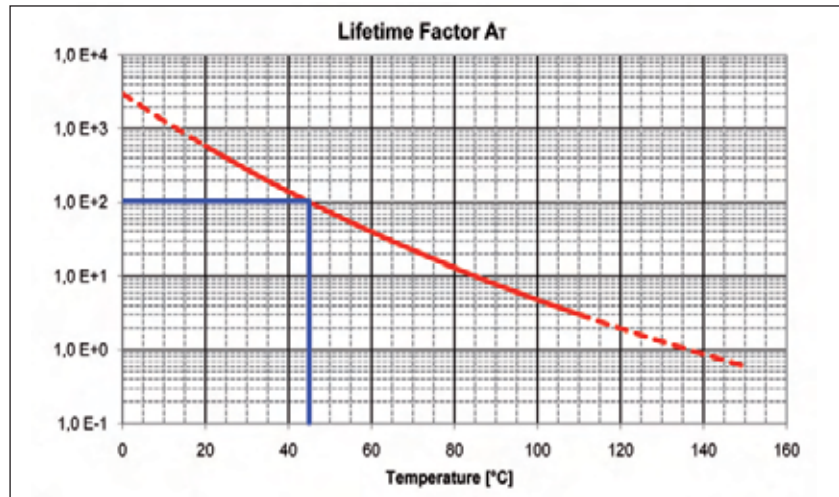


Abb. 5: Die Diagramme zeigen die Abhängigkeit der mittleren Lebensdauer eines PICMA® Aktors von der Höhe der angelegten Spannung, der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit. Wichtig: Mit sinkenden Spannungswerten steigt die Lebensdauer exponentiell an. Dies ist bei einer Applikation immer zu beachten. Die Testergebnisse wurden an einer repräsentativen Stichprobe PICMA® 5x5x18 (P-885.50) ermittelt und sind typisch für das gesamte PICMA® Sortiment.

PICMA® Piezoaktoren unter Dauerlast

Dynamischer Einsatz: Wechselfeld / AC-Betrieb

Dynamischer Dauerbetrieb

Zyklische Beanspruchung mit einem schnellen Wechselfeld und hohen Ansteuerspannungen (typisch > 50 Hz; > 50 V) ist ein häufiger Anwendungsfall für Multilayer-Piezoaktoren beispielsweise in Ventilen, Pumpen oder Ultraschallwandlern.

Die Lebensdauer des Piezoelements wird dabei von anderen Faktoren als beim DC-Betrieb dominiert: Der Einfluss dynamischer Kräfte und wechselnder mechanischer Spannungszustände steigt, im Stapelaufbau kann dies zu Rissbildungen und daraus resultierend zu elektrischen Durchschlägen führen. Dagegen ist der Einfluss der Luftfeuchtigkeit vernachlässigbar, weil diese lokal durch die Eigenerwärmung der Piezokeramik reduziert wird.

Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Lebensdauer sind demnach die elektrische Spannung und die Signalform. Die Lebensdauer selbst wird bei AC-Betrieb nicht als Zeitdauer sondern als Zyklenzahl sinnvoll angegeben.

Außergewöhnlich widerstandsfähig: 10¹⁰ Arbeitszyklen

Aufgrund der Stabilität des Materialverhaltens und des mechanischen

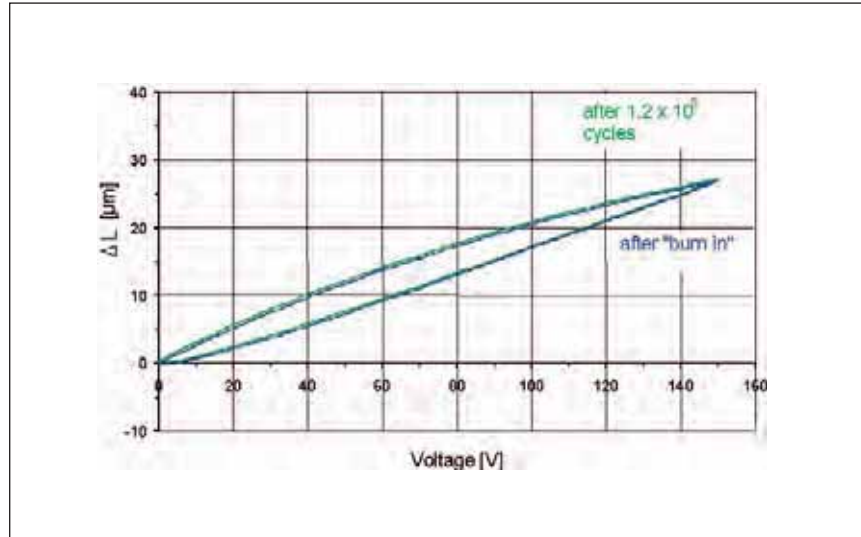


Abb. 6: Dynamische Testreihe mit acht PICMA® Aktoren 5 x 5 x 18 mm: Gesamt-Zyklenzahl $4,0 \times 10^9$ Zyklen; 116 Hz Sinusansteuerung ($1,0 \times 10^7$ Zyklen pro Tag), 100 V unipolare Betriebsspannung, 15 MPa Vorspannung. Kontrollmessungen jeweils nach 10^8 Zyklen. Nur unwesentlicher Rückgang der Auslenkung.

Aufbaus zeigen PICMA® Aktoren auch nach vielen Milliarden von Lastzyklen keine Verschleißerscheinungen (Abb. 6).

Die Zielmarke von 10^{10} Arbeitszyklen ist besonders für den industriellen Einsatz von Bedeutung. Dieser Nachweis der Zuverlässigkeit von PICMA® Technologie erfolgt durch

einen Test mit besonders hoher Ansteuerfrequenz.

Vorgespannte PICMA® Aktoren der Größe 5 x 5 x 36 mm wurden dazu bei Raumtemperatur und durchschnittlicher Luftfeuchte mit einem Sinussignal von 120 V unipolarer Spannung bei 1157 Hz belastet. Das ergibt 10^8 Zyklen täglich! Selbst bei dieser hohen Spannung und Frequenz gab es keinen einzigen Ausfall und die Aktoren zeigten keine signifikanten Auslenkungsänderungen.

Längere Einschaltdauer und höhere Ansteuerfrequenzen

Der dynamische Betrieb der PICMA® Piezoelemente profitiert wesentlich vom großen Betriebstemperaturbereich von bis zu 150 °C.

Die Eigenerwärmung bei dynamischer Ansteuerung ist proportional zur Betriebsfrequenz. Daher erlaubt eine höhere Betriebstemperatur auch höhere Ansteuerfrequenzen und eine längere Einschaltdauer. Außerdem zeigt die Auslenkung der PICMA® Piezokeramiken nur eine geringe Temperaturabhängigkeit.

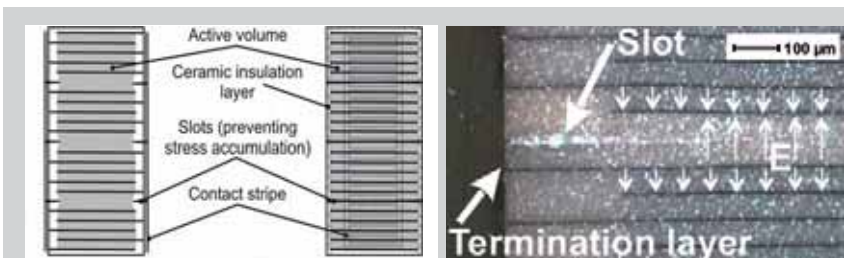


Abb. 7: Patentiertes PICMA® Design mit seitlichen Schlitzen („Slots“) zur Vermeidung unkontrollierter Dehnungsrisse während der dynamischen Ansteuerung

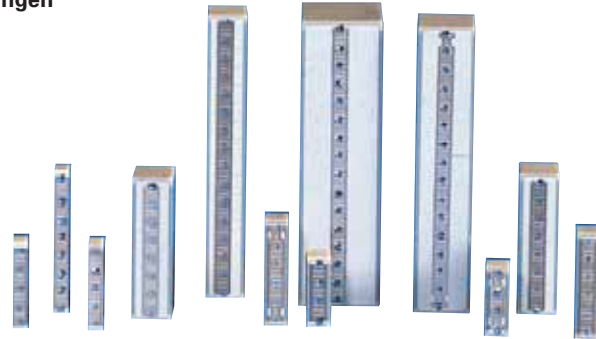
Stabil auch im Wechselfeld

PI reduziert die Risswahrscheinlichkeit durch die Nutzung eines besonderen, patentierten Designs mit seitlichen Schlitzen. Diese verhindern wirksam die Überhöhung der mechanischen Zugspannungen im Stapel und die Ausbildung unkontrollierter zusätzlicher Risse (Abb. 7). Des weiteren sichert der patentierte mäanderförmige Aufbau der äußeren Elektroden (vgl. Abb. 2) den stabilen elektrischen Kontakt aller Innenelektroden selbst bei extremen dynamischen Belastungen.

P-882 · P-888 PICMA® Multilayer-Piezoaktoren

Keramisch isolierte Hochleistungsaktoren

- Überlegene Lebensdauer auch unter extremen Bedingungen
- Sehr großer Betriebstemperaturbereich
- Unempfindlich gegen Luftfeuchtigkeit
- Hervorragende Temperaturstabilität
- Hohe Steifigkeit
- Spitzenströme bis 20 A
- UHV-Kompatibel bis 10^{-9} hPa
- Sub-ms Ansprechzeit / Sub-nm Auflösung
- Ideal für den dynamischen Betrieb



Ideal für den positionsgeregelten Betrieb

PICMA® Aktoren erreichen Positionsaufösungen im Sub-Nanometerbereich und Reaktionszeiten im Mikrosekundenbereich. Die keramische Oberfläche der Aktoren ist hervorragend für das Aufbringen von Sensoren, beispielsweise von Dehnungsmessstreifen, geeignet. Im Gegensatz zu polymerummantelten Aktoren wird bei PICMA® der Sensor direkt auf die Keramik aufgebracht, was höhere Stabilität, Linearität und Messgenauigkeit ermöglicht.



Weiter verbesserte Zuverlässigkeit auch bei dauerhaft hoher Luftfeuchtigkeit oder Spritzwasser durch hermetische Kapselung mit Inertgasfüllung. Verfügbar auf Anfrage.

Technische Daten / Bestellnummern

Bestellnummer*	Abmessungen A x B x L [mm]	Nominalstellweg [μm] ±20 % (0 – 100 V)	Max. Stellweg [μm] ±20 % (0 – 120 V)	Blockierkraft [N] (0 – 120 V)	Steifigkeit [N/μm]	Elektrische Kapazität [μF] ±20 %	Resonanzfrequenz [kHz] ±20 %
P-882.11	2 x 3 x 9	6,5 ±20 %	8 ±20 %	190	24	0,15	135
P-882.31	2 x 3 x 13,5	11 ±20 %	13 ±20 %	210	16	0,22	90
P-882.51	2 x 3 x 18	15 ±10 %	18 ±10 %	210	12	0,31	70
P-883.11	3 x 3 x 9	6,5 ±20 %	8 ±20 %	290	36	0,21	135
P-883.31	3 x 3 x 13,5	11 ±20 %	13 ±20 %	310	24	0,35	90
P-883.51	3 x 3 x 18	15 ±10 %	18 ±10 %	310	18	0,48	70
P-885.11	5 x 5 x 9	6,5 ±20 %	8 ±20 %	800	100	0,6	135
P-885.31	5 x 5 x 13,5	11 ±20 %	13 ±20 %	870	67	1,1	90
P-885.51	5 x 5 x 18	15 ±10 %	18 ±10 %	900	50	1,5	70
P-885.91	5 x 5 x 36	32 ±10 %	38 ±10 %	950	25	3,1	40
P-887.31	7 x 7 x 13,5	11 ±20 %	13 ±20 %	1700	130	2,2	90
P-887.51	7 x 7 x 18	15 ±10 %	18 ±10 %	1750	100	3,1	70
P-887.91	7 x 7 x 36	32 ±10 %	38 ±10 %	1850	50	6,4	40
P-888.31	10 x 10 x 13,5	11 ±20 %	13 ±20 %	3500	267	4,3	90
P-888.51	10 x 10 x 18	15 ±10 %	18 ±10 %	3600	200	6,0	70
P-888.91	10 x 10 x 36	32 ±10 %	38 ±10 %	3800	100	13,0	40

Piezokeramik Typ 252

Standardanschlüsse: 100 mm Anschlussdrähte

*Optional mit lötbaren Kontakten erhältlich; dazu die letzte Ziffer der Bestellnummer in 0 ändern (z. B. P-882.10).

Empfohlene Vorspannung für den dynamischen Betrieb: 15 MPa

Maximale Vorspannung für konstante Kraftausübung: 30 MPa

Resonanzfrequenz gemessen bei 1 V_{pp}, unbelastet, beidseitig frei. Bei einseitiger Einspannung halbiert sich der Wert

Kapazität gemessen bei 1 V_{pp}, 1 kHz

Betriebsspannungsbereich: -30 bis +130 V; die Lebensdauer ist von der angelegten Spannung abhängig.

Betriebstemperaturbereich: -40 bis +150 °C

Standardendstücke: Keramik

Standardanschlüsse: Lötbare Kontakte

Mögliche Modifikationen: Applikation von DMS-Sensoren, spezielle Endstücke etc.

Sonderausführungen und andere Spezifikationen auf Anfrage.

Weitere Informationen zu piezokeramischen Materialien und Bauelementen finden Sie in den Katalogen von PI Ceramic und im Internet (www.piceramic.de).



Der PI Gesamtkatalog „Piezo – Nano – Positioning: Inspirationen 2009“ ist jetzt aktuell verfügbar. Der Katalog zeigt die breite PI Produktpalette und neue technische Lösungen in den Bereichen:

Nanostelltechnik / Scansysteme
 Schnelle Scantische für die Mikroskopie
 Piezoaktoren
 Piezomotoren
 Piezocontroller
 Motorisierte Mikrostelltische und Linearaktoren
 Motorcontroller
 Sechs-Achs-Justiersysteme, Hexapoden

Hauptsitze

DEUTSCHLAND

Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

Auf der Römerstraße 1
 76228 Karlsruhe
 Tel: +49 (721) 4846-0
 Fax: +49 (721) 4846-100
info@pi.ws · www.pi.ws

PI Ceramic GmbH

Lindenstraße
 07589 Lederhose
 Tel: +49 (36604) 882-0
 Fax: +49 (36604) 882-25
info@piceramic.de
www.piceramic.de

Niederlassungen

USA (Ost) & KANADA

PI (Physik Instrumente) L.P.

16 Albert St.
 Auburn, MA 01501
 Tel: +1 (508) 832 3456
 Fax: +1 (508) 832 0506
info@pi-usa.us
www.pi-usa.us

USA (West) & MEXIKO

PI (Physik Instrumente) L.P.

5420 Trabuco Rd., Suite 100
 Irvine, CA 92620
 Tel: +1 (949) 679 9191
 Fax: +1 (949) 679 9292
info@pi-usa.us
www.pi-usa.us

JAPAN

PI Japan Co., Ltd.

Akebono-cho 2-38-5
 Tachikawa-shi
 Tokyo 190
 Tel: +81 (42) 526 7300
 Fax: +81 (42) 526 7301
info@pi-japan.jp
www.pi-japan.jp

PI Japan Co., Ltd.

Hanahara Dai-ni-Building, #703
 4-11-27 Nishinakajima,
 Yodogawa-ku, Osaka-shi
 Osaka 532
 Tel: +81 (6) 6304 5605
 Fax: +81 (6) 6304 5606
info@pi-japan.jp
www.pi-japan.jp

CHINA

Physik Instrumente (PI Shanghai) Co., Ltd.

Building No. 7-301
 Longdong Avenue 3000
 201203 Shanghai, China
 Tel: +86 (21) 687 900 08
 Fax: +86 (21) 687 900 98
info@pi-china.cn
www.pi-china.cn

UK & IRLAND

PI (Physik Instrumente) Ltd.

Trent House
 University Way,
 Cranfield Technology Park,
 Cranfield,
 Bedford MK43 0AN
 Tel: +44 (1234) 756 360
 Fax: +44 (1234) 756 369
uk@pi.ws
www.physikinstrumente.co.uk

FRANKREICH

PI France S.A.S.

32 rue Delizy
 93694 Pantin Cedex
 Tel: +33 (1) 57 14 07 10
 Fax: +33 (1) 41 71 18 98
info@pifrance.fr
www.pifrance.fr

ITALIEN

Physik Instrumente (PI) S.r.l.

Via G. Marconi, 28
 20091 Bresso (MI)
 Tel: +39 (02) 665 011 01
 Fax: +39 (02) 610 396 56
info@pionline.it
www.pionline.it