

Piezoaktoren erhöhen die Durchsatzraten

Schwingungsisolation für Industrie, Labor und Forschung



Aktives Piezoelektrisches Schwingungs-isolationssystem: STACIS® von TMC

Wenn ein System aus dem Gleichgewicht gebracht wird, kann es zu Schwingungen kommen. Da jede Schwingung durch Umgebungseinflüsse gedämpft wird, kommt jedes System irgendwann von allein wieder zum Stillstand.

So lange zu warten, ist allerdings in vielen Anwendungen nicht möglich, zumal sich meist mehrere Störungen zeitlich überlagern und ein mehr oder weniger konfuse Schwingungsbild mit unterschiedlichsten Frequenzen ergeben. Mit einer aktiven Schwingungsisolation reduzieren sich die Einschwingzeiten erheblich, die Präzision bei Mess- oder Fertigungsabläufen steigt und höhere Durchsatzraten sind

realisierbar. Die bisher zur Schwingungsisolation üblichen passiven Verfahren reichen für viele der heutigen Technologien nicht mehr aus. Bewegungen und Stöße durch Trittschall, Lüfter, Kühlsysteme, Motoren, Bearbeitungsvorgänge etc. können z. B. bei der Mikrobearbeitung Muster so verfälschen, dass das Ergebnis unbrauchbar wird. Erschwerend kommt hinzu, dass konventionelle pneumatische

Entkoppler bei Störfrequenzen unter 2 Hz nicht mehr wirksam sind. Bild 1 zeigt ein typisches Beispiel: Bei dem nicht hinreichend schwingungs-isolierten Lithografiegerät sind die angestrebten 45 µm breiten Linien praktisch nicht erkennbar (a). Die Abbildung daneben (b) zeigt das Ergebnis, wenn die Schwingungsisolation aktive Verfahren nutzt, die die Schwingung nicht nur dämpfen, sondern ihr aktiv entgegenwirken.

Fortsetzung auf Seite 2

Inhalt	Seite
Schwingungsisolation für Industrie, Labor und Forschung	1, 2
Digitaler Motion Controller für preisgünstige Piezosysteme	3, 4
Piezo-Würfel für die 3D-Strukturierung	4
Piezostelltechnik in unterschiedlichen Integrationsstufen	5
Mikrotechnologie präzise positioniert	5
Fit für den Einsatz im Hochvakuum	6
Preisgünstige Treiberelektronik für Piezo-Linearantriebe	6
Hochlast-Linearaktoren für die Nanopositionierung	7
Neue Piezo-Schreitaktoren unter den Top Drei	7
Die ACTUATOR 10 in Bremen	7
Die Open Nano Labs	8
Termine, Impressum	8

Zum Problemlöser wurde hier ein piezobasiertes aktives Isolationssystem der Serie STACIS[®], das die Firma TMC Technical Manufacturing Corporation entwickelt hat. Es erlaubt die Isolation kleinster Schwingungsfrequenzen, angefangen vom Sub-Hertz-Bereich und verhindert so, dass sich Erschütterungen negativ auf die darauf montierte Maschine auswirken können. Dies verbessert nicht nur die Bearbeitungs- oder Testqualität, sondern reduziert gleichzeitig die

Einschwingzeiten (Bild 2). Die Taktzeiten verkürzen sich und die Durchsatzraten steigen.

Vibrationen in sechs Freiheitsgraden erfassen und kompensieren

Die aktiven Schwingungsisolatoren erfassen mit Hilfe integrierter Beschleunigungssensoren auftretende Vibrationen in sechs Freiheitsgraden. Piezoaktoren erzeugen die zur Kompensation notwendigen Gegenbewegungen, die von einem Echtzeit-

Digital-Signal-Prozessor angesteuert werden. Dieser bietet die notwendige Rechenleistung für die extrem schnellen Berechnungen zur Schwingungskompensation.

Dank der großen Steifigkeit, der hohen Belastbarkeit und dem sauberen druckluftfreien Betrieb eignen sich die piezobasierten aktiven Isolatoren sowohl für die Integration als OEM-Komponenten in hochmodernen Werkzeugen als auch für den Einbau in Isolationsplattformen von Lithografiesystemen bis zu hochauflösenden Mikroskopen.

Piezos für die aktive Schwingungs-isolation

Die von TMC eingesetzten Piezoaktoren der PICA-Serie stammen von PI Ceramic. Die Aktoren werden in einer hochmodernen Fertigungsanlage hergestellt und in einer großen Auswahl von Durchmessern und Baulängen angeboten. Sie sind für fast jede Aktorikanwendung einsetzbar und boten auch für die Isolatoren beste Voraussetzungen, da sie sich für hohe Lasten und Resonanzfrequenzen über 10 kHz eignen, bei Stellwegen von über 100 µm und einer Blockierkraft von über 75 kN.

Das aktive piezoelektrische Schwingungs-isolationssystem STACIS[®] von TMC wird exklusiv von Linos Photonics vertrieben.



Vakuum-Beschichtung (Sputtern) von Piezokeramiken bei PI Ceramic

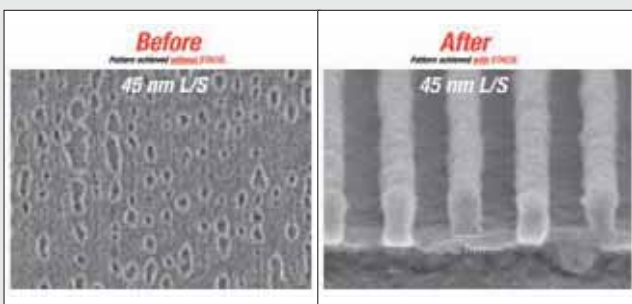


Bild 1: Testmuster mit einer Linienbreite von 45 nm, ohne (a) und mit (b) STACIS[®]-Schwingungs-isolation. (Foto: Sematech)

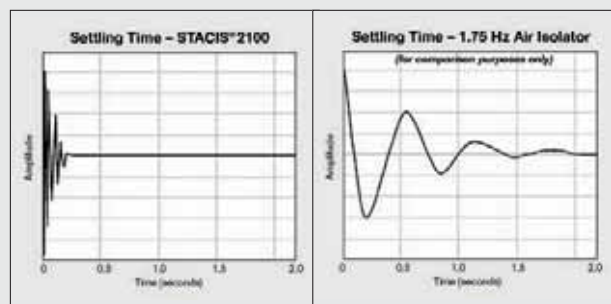


Bild 2: Einschwingzeit als Reaktion auf die On-Board-Störung beim Beladen eines Mikroskop-Tisches mit dem Substrat. (Foto: TMC)

Verbesserung der Positioniergenauigkeit um bis zu eine Größenordnung

Digitaler Motion Controller für preisgünstige Piezosysteme



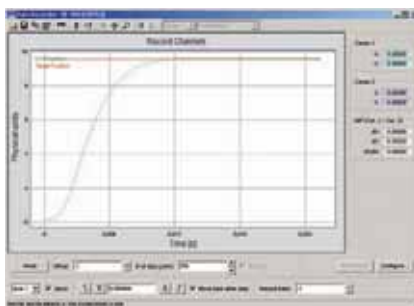
Der digitale Piezocontroller E-709 und der extrem flache Piezoscanner P-712 bilden ein preisgünstiges Nanopositioniersystem mit einer Positioniergenauigkeit von einem Nanometer.

tiver Sensoren herankommt. Der digitale Controller ist mit einem umfangreichen Softwarepaket ausgerüstet. Wie bei PI üblich, wird nicht nur das Bedienerprogramm PIMikroMove mitgeliefert, sondern darüber hinaus LabVIEW Treiber und DLLs für die Programmierung unter Windows oder LINUX. Wichtig für den Einsatz in der Mikroskopie ist die Kompatibilität zu Softwareplattformen wie μ Manager, MATLAB oder Metamorph.

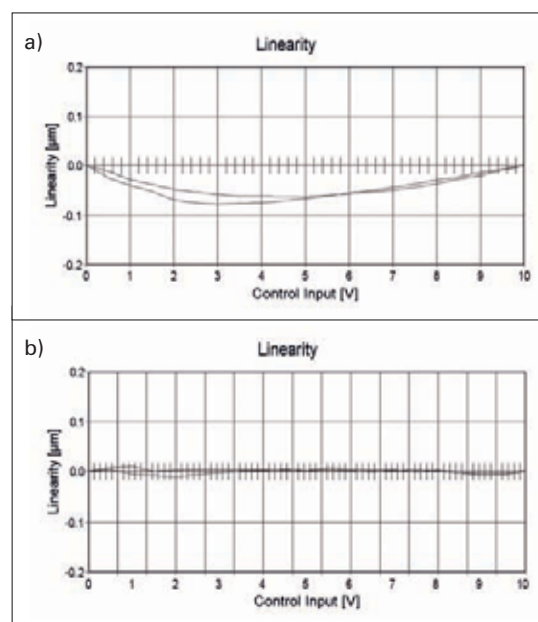
Der einkanale Piezocontroller E-709 erschließt die Digitaltechnik und ihre Vorteile nun auch den preisgünstigeren Systemen der Genauigkeitsklasse von einem bis zehn Nanometern. Zunächst unterstützt er die in preisgünstigeren Piezosystemen verwendeten Dehnmessstreifen-Sensoren (Metallfolien oder piezoresistiv), eine Version für kapazitive Sensoren folgt. Aufgrund der Anforderungen an diese Systeme werden im E-709 Komponenten mit ausgewogenem Preis-Leistungs-Verhältnis verwendet. Die

D/A Wandlung beträgt 16 Bit, der 32 Bit-Prozessor mit 150 MHz Takt rate ermöglicht eine Servorate von 10 kHz – das heißt, dass Positionsneuberechnungen 10.000 mal pro Sekunde stattfinden. Der Verstärker liefert 5 W Dauerleistung, z. B. für den dynamischen Betrieb klassischer Nanopositioniersysteme wie des P-721 PIFOC® Objektivscanners.

Seine Vorteile gegenüber analogen Systemen spielt der digitale Controller, der über USB und RS-232 Schnittstellen kommandiert werden kann, an mehreren Stellen aus. Die digitale Regelung nutzt bei der kontinuierlichen Neuberechnung der Steuerspannung zusätzliche Linearisierungsalgorithmen, die die Genauigkeit des Systems sowohl dynamisch als auch für das Erreichen der Endposition verbessern. Vergleichsmessungen haben gezeigt, dass sich die Nicht-Linearität im Vergleich zu einem hochwertigen analogen System für Metallfolien-DMS um einen Faktor 10 von etwa 0,2 % auf 0,02 % verbessert und damit nahe an die Werte kapazi-



Einschwingverhalten eines Piezosystems, aufgezeichnet mit der Anwendersoftware PIMikroMove des E-709. So lassen sich die Systemparameter einfach optimieren.



Messungen mit dem Piezoscanner P-712 (30 μ m Stellweg) mit a) einem klassischen analogen Controller und b) dem digitalen E-709. Die Nicht-Linearität beträgt beim analogen Controller 0,1 μ m, das entspricht 0,3 %. Aufgrund der digitalen Linearisierung ist die Linearitätsabweichung mit dem neuen E-709 erheblich geringer (Bildbearbeitung – X-Achse 0-30 μ m)

Fortsetzung von Seite 3

OEM Versionen senken Systemkosten

Im E-609 verwendet PI einen digitalen Regler mit Linearisierungsalgorithmen in einem analog anzusteuernenden Gerät. Die Regelparameter werden per Software über eine Serviceschnittstelle gesetzt.



Der digitale Controller E-709 ist auch als OEM Variante mit derselben Funktionalität ohne Gehäuse verfügbar. Der Controller E-609 bedient dieselbe Leistungsklasse wie der E-709. Anders als dieser, besitzt der E-609 nur analoge Schnittstellen zur Kommandierung der Position und einen reduzierten Funktionsumfang. Er ist damit das ideale Gerät für Automatisierungsaufgaben ohne Host PC. Der E-609 besitzt – anders als herkömmliche analoge Geräte – einen digitalen Regler, der per Software und USB-Serviceinterface optimiert werden kann. Durch zusätzliche Linearisierungsverfahren werden im Vergleich zu vollständig analogen Geräten wesentlich bessere Linearitätswerte erzielt.

aufgaben ohne Host PC. Der E-609 besitzt – anders als herkömmliche analoge Geräte – einen digitalen Regler, der per Software und USB-Serviceinterface optimiert werden kann. Durch zusätzliche Linearisierungsverfahren werden im Vergleich zu vollständig analogen Geräten wesentlich bessere Linearitätswerte erzielt.

Präzisionspositionierung in der Nano-Mechatronik

Piezo-Würfel für die 3D-Strukturierung

Das XYZ-Nanopositioniersystem P-611 NanoCube stellt seine Leistungsfähigkeit immer wieder in neuen Anwendungsbereichen unter Beweis. Bei einer Kantenlänge von lediglich 44 mm liefert es Stellwege von bis zu $100 \times 100 \times 100 \mu\text{m}$ und ist einfach zu integrieren. Angetrieben durch PICMA® Piezoaktoren erreicht es Auflösungen bis $0,2 \text{ nm}$ bei Ansprechzeiten im Millisekundenbereich. Ein Anwendungsbeispiel findet sich bei der französischen Firma Teem Photonics, die den NanoCube® in ihrem neuartigen Mikrofertigungssystem µFab3D einsetzt. Das System erzeugt



Der NanoCube® eignet sich für Stellwege bis zu $100 \times 100 \times 100 \mu\text{m}$. Angetrieben durch Piezoaktoren erreicht er Auflösungen bis $0,2 \text{ nm}$ bei Ansprechzeiten im Mikrosekundenbereich. (Foto: PI)

dreidimensionale Mikrostrukturen und Objekte in lichtempfindlichen Materialien wie Polymeren, Proteinen oder Edelmetallen.

Die Funktionsweise des Mikrofertigungssystems basiert auf der sogenannten „Zwei-Photonen-Absorption“; bei der mit einem gepulsten Laserstrahl eine hinreichend große Energiezufuhr im Fokus erzielt wird. Dadurch wird die Materialstruktur durch Polymerisation, Verkettung von Proteinen oder das Ausfällen von Metallionen verändert. Zu den typischen Anwendungsbereichen gehören die Mikrofluidik, die Zellbiologie sowie die Herstellung photonischer Kristallstrukturen in der Mikrooptik.

Die Auflösung des Systems, also die Größe der Bearbeitungspunkte, die überall innerhalb des Objekts liegen können, beträgt 200 nm . Bearbeitet wird „on the fly“ bei einer Geschwindigkeit von $100 \mu\text{m/s}$. Um ein homogenes und qualitativ hochwertiges Ergebnis zu erreichen, muss der Laser die Bearbeitungspunkte präzise und mit einer konstanten Geschwindigkeit anfahren. Dafür liefert der NanoCube® die besten Voraussetzungen. Da die Größe des zu bearbeitenden Objekts derzeit lediglich durch die Verfahrenswege des Piezosystems limitiert wird, soll zukünftig ein System von PI mit größeren Stellwegen verwendet werden.



Die Funktionsweise des Mikrofertigungssystems basiert auf der sogenannten „Zwei-Photonen-Absorption“ (Foto: Teem Photonics)

Präzise Positionier-Lösungen können durchaus preisgünstig sein

Piezostelltechnik in unterschiedlichen Integrationsstufen

In vielen Bereichen der Automatisierung ist „Gefühl“ gefragt. Beispiele finden sich überall dort, wo fein justiert, also mit hoher Auflösung positioniert werden muss, oft gleichzeitig mit hoher Dynamik oder Kraft.

Anwendungen, die dies erfordern, sind z. B. Einstellungen von Spaltbreiten oder das Cavity-Tuning in der Laseroptik sowie das Microscanning für Imagingverfahren. Ebenso dazu gehören Dispenser, Ventile für die Mikrodosierung, Pumpen in Medizintechnik und Biotechnologie sowie die Krafterzeugung in der Adaptronik oder bei Imprint-Verfahren. Wer aus technischen oder finanziellen Gründen lieber zu OEM-Produkten greift, kann heute selbst bei anspruchsvollen Positionieraufgaben die Investitionskosten vergleichsweise niedrig halten. Die Hebelaktoren der PiezoMove-Serie stellen eine mittlere Integrationsstufe zwischen vorgespannten Stapelaktoren (Auslenkung bis etwa 100 μm) und kompletten, mehrachsigen Stelltischen dar. Bei den Hebelaktoren sind die Piezoaktoren mechanisch in Festkörpergelenke eingebunden. Das verbessert die Führungsgenauigkeit; ein Verkappen ist nicht zu befürchten. Gleichzeitig übersetzen die Festkörpergelenke die Auslenkung des Piezos in größere Stellwege. Im Gegensatz zu den höher integrierten Nanopositioniersystemen bauen Hebelaktoren



Hebelaktoren sind eine mittlere Integrationsstufe zwischen vorgespannten Stapelaktoren und kompletten, mehrachsigen Stelltischen.

sehr klein und lassen sich dadurch gut integrieren. Die PiezoMove-Serie deckt in drei Bauvarianten unterschiedliche Anwenderwünsche ab: Hebelaktoren vom Typ P-601 haben Stellwege bis 400 μm und eine hohe Positioniergenauigkeit bei sehr kompakten Abmessungen. Die P-602-Hebelaktoren arbeiten mit großen Stellwegen bis 1 mm. Da das Design äußerst flexibel ist, können hier zur Erhöhung der Steifigkeit und damit zur größeren Krafterzeugung Multilayer-Aktoren mit einer großen Grundfläche von 10 auf 10 mm eingesetzt werden. Die Hebelaktoren vom Typ P-603 schließlich erreichen Stellwege bis 500 μm und sind für eine kostenoptimierte Herstellung in großen Stückzahlen ausgelegt.

Mikrotechnologie präzise positioniert

Messtechnik, Produktion oder Medizingeräte – moderne optische und Laser-Technologien erfordern die präzise Ausrichtung von Komponenten mit hoher Zuverlässigkeit. Physik Instrumente (PI) präsentiert vom 19.–23. April 2010 auf der MicroNanoTec im Rahmen der Hannover Messe neueste Nano-Positioniersysteme und piezomotorische Antriebe.



PI auf der Hannover Messe im Jahre 2009

	Stapelaktoren	Hebelaktoren	Positioniersysteme
Stellwege	bis ca. 150 μm	bis 1 mm	bis 2 mm
Bewegte Achsen	eine	eine	bis zu drei Linear- und drei Kippachsen
Sensorik	optionale DMS	optionale DMS	DMS oder direkt messende kapazitive Sensoren
Linearität	bis 99,8 %	bis 99,8 %	über 99,9 %
Führung	keine	Festkörpergelenke für Verkippungen < 10°	Festkörpergelenke für Verkippungen < 2°
Platzbedarf	gering	gering	abhängig von der Ausstattung
Preis	gering	gering	abhängig von der Ausstattung
Integrationsaufwand	hoch	gering	gering

Die Tabelle zeigt die unterschiedlichen Integrationsstufen und ihre wesentlichen Eigenschaften auf einen Blick.

Piezoaktoren, Piezoschreitantriebe und Nanopositioniersysteme

Fit für den Einsatz im Hochvakuum

Positioniersysteme und Linearaktoren auf piezokeramischer Basis bieten für den Einsatz im Hoch- und Ultra-hochvakuum bei Drücken bis 10^{-10} hPa (mbar) besonders gute Voraussetzungen, da die Bewegung durch Verschiebungen in der Kristallstruktur erzeugt wird.

Es sind also keine klassischen mechanischen Elemente wie Wellen oder Getriebe und damit keine Wartung oder Schmierung erforderlich. Auch ein Ausgasen der verwendeten Werkstoffe ist nicht zu befürchten. PICMA® Aktoren beispielsweise sind vollkeramisch ummantelt und benötigen keine polymerische Isolation. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat bei entsprechenden Prüfungen keine messbaren Ausgasraten festgestellt. Durch die Keramikisolierung steigt außerdem die nutzbare Obergrenze des Temperaturbereichs auf 150 °C; ein Vorteil für das Ausheizen in Vakuumanwendungen. Für größere Stellwege bieten sich – ebenfalls vollkeramische und vakuum-

taugliche – Piezo-Schreitantriebe der NEXACT® oder NEXLINE® Serien an. Je nach Ausführung eignen sich damit ausgestattete Positioniersysteme für Stellwege bis 30 oder bis 125 mm und mehr. Dabei können die Positioniersysteme beachtliche Lasten bewältigen. Schwerlastausführungen erreichen Antriebskräfte bis 600 N, für Schnelligkeit optimierte Varianten fahren mit Geschwindigkeiten von

bis zu 10 mm/s bei einer Antriebskraft von 10 N. Dabei profitiert man noch von weiteren Eigenschaften der Piezomotoren: Sie müssen nicht weiter bestromt werden, wenn die Zielposition erreicht ist. Es gibt dadurch keine im Vakuum unerwünschte Wärmeentwicklung. Zusätzliche Bremsen sind nicht erforderlich, da die Piezomotoren im Ruhezustand selbsthemmend sind.



N-111 NEXLINE® Piezo-Schreitantriebe: hohe Auflösung, große Wege und schwere Lasten. Bei Piezo-Schreitantrieben sind Piezoaktoren mit unterschiedlichen Bewegungseigenschaften miteinander kombiniert. Entsprechend angesteuert werden sowohl Klemms- als auch Schubbewegungen realisiert, die zu einem Schreiten des Antriebs entlang eines bewegten Läufers führen.



Vakuumkompatible parallele Kinematiken mit Piezoantrieben setzen mehrachsige Bewegungen sehr effizient um.

Preisgünstige Treiberelektronik für Piezo-Linearantriebe

Die kompakten NEXACT® Piezo-Schreitantriebe stoßen in eine neue Performanceklasse für Linearantriebe vor: Mit hohen Kräften von 10 N und Geschwindigkeiten von über 10 mm/s bei Auflösungen von wenigen Nanometern ersetzen sie die üblichen Schritt- oder DC-Servomotoren in Anwendungen, die auf die Kombination von Kraft und Auflösung

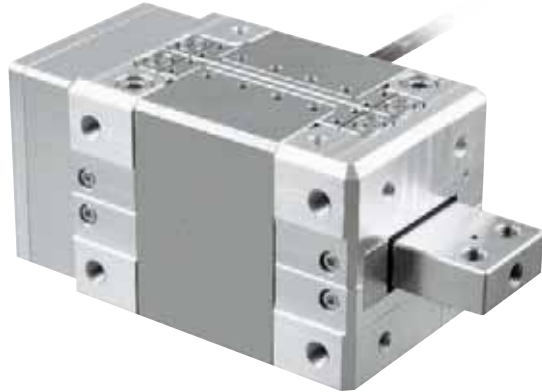
bei großen Stellwegen angewiesen sind. Die Treiberelektronik E-862 ist die ideale Ansteuerung der NEXACT® Antriebe für den unregelmäßigen Betrieb oder bei externer Positions- oder Geschwindigkeitsregelung. Über ein analoges Eingangssignal kann der Treiber mit Motion Controllern verbunden oder direkt über Joystick angesteuert werden.



Treiberelektronik für Piezo-Schreitantriebe zur Präzisionspositionierung.

Bis zu 600 N Schubkraft bei 20 mm Stellweg

Hochlast-Linearaktoren für die Nanopositionierung



Bis zu 600 N Schubkraft bei 20 mm Stellweg: N-216 Hochlast-Linearaktoren für die Nanopositionierung.

Mit den NEXLINE® Piezo-Schreit-antrieben der Serie N-216 hat PI jetzt neue Hochlast-Linearaktoren im Programm, die Stellwege von 20 mm, Zug- bzw. Schubkräfte bis zu 600 N und Positioniergenauigkeiten im

Nanometerbereich miteinander kombinieren. Sie eignen sich sowohl für einen geregelten als auch für den unregelmäßigen Betrieb: Der integrierte Encoder der regelbaren Ausführungen hat eine Auflösung von 5 nm über den gesamten Stellweg. Im unregelmäßigen Betrieb, z. B. bei hochdynamischen Anwendungen, werden Positionsaufösungen bis 30 Picometer erreicht. Um die Antriebe optimal an die jeweilige Applikation anzupassen, stehen zwei unterschiedliche Controller zur Wahl: Der E-755 bietet alle Funktionen für eine nanometergenaue Positionierung und deckt damit die meisten Anwendungen gut ab. Der E-712 hat zusätzlich verfeinerte Linearisierungsalgorithmen für extrem gleichmäßigen Lauf und erlaubt schnellere Vorschubbewegungen mit maximaler Kraft.

PI Ceramic für Thüringischen Innovationspreis nominiert

Neue Piezo-Schreitaktoren unter den Top Drei

Im Dezember 2009 wurde der Innovationspreis Thüringen zum 12. Mal vergeben. Der seit 1994 ausgeschriebene Wettbewerb hat sich damit als Impulsgeber und Spiegelbild der erfolgreichen wirtschaftlichen Entwicklung im Freistaat Thüringen etabliert. Unter insgesamt mehr als 100 Bewerbern wurde PI Ceramic aus Lederhose mit den Piezo-Schreit-antrieben der Serie NEXACT® in der Kategorie „Industrie & Material“ für den Innovationspreis nominiert. Mit dieser Technologie kam das Unternehmen unter die Top Drei der Teilnehmer. Auch wenn der Preis letzt-

endlich an ein anderes Unternehmen für ein Antriebskonzept im Automobilbau ging, ist die Nominierung an sich ein hervorragendes Ergebnis für eine kleine Keramik, die die Welt der Präzisionspositionierung verändern kann.



NEXACT® N-310: Hochauflösender Linearantrieb für Stellwege bis 20 mm und Haltekräfte bis 10 N.

ACTUATOR 10

Heimspiel für PI

Die ACTUATOR in Bremen

Mit etwa 500 Teilnehmern aus mehr als 30 Ländern ist die „12th International Conference on New Actuators“ der wichtigste Marktplatz, um die international führenden Spezialisten zu treffen, an ihrem Know-how teilzuhaben und Geschäftskontakte auf dem Gebiet der Aktorik zu knüpfen.

Für PI und PI Ceramic ist die ACTUATOR daher ein Heimspiel, nicht nur, weil die Konferenz alle 2 Jahre in Deutschland stattfindet, sondern auch, weil sie sich mit unserem Kerngeschäft auseinandersetzt: Zukunftsweisende Antriebssysteme.

Entsprechend haben PI und PIC auch einiges beizutragen. Mit gleich sechs Vorträgen und drei Postern berichtet PI über neuartige Ultraschallmotoren oder über Ansteuerungs- und Schwingungsisolierungs-Konzepte bei Schreit-antrieben oder darüber, wie die Zuverlässigkeit von Piezokeramiken weiter gesteigert werden kann.

Informieren Sie sich über die ACTUATOR vom 14. bis 16. Juni in Bremen auf www.actuator.de und fordern Sie noch heute Ihre freie Eintrittskarte zu dieser wegweisenden Konferenz bei PI an.



Reisetipp Mailand

Die Open Nano Labs

Im März wurde im Mailänder Wissenschaftlichen Museum „Leonardo Da Vinci“ die neue Abteilung Nanotechnologie eröffnet. PI ist einer derjenigen Sponsoren, die dazu beitragen, Nanotechnologie greifbar zu machen: Anhand der Piezoaktoren wird die Nanopositionierung erläutert. Die Nanotechnologie-Abteilung wurde in

Zusammenarbeit mit dem CIMAINA, einer interdisziplinären Einrichtung der Mailänder Universität eingerichtet. Im Zuge des Europäischen NanoTo Touch Projekts sind Forschungslabors in das Museum mit umgezogen und ermöglichen dort freien Zugang der interessierten Besucher zu aktuellen Forschungsthemen.

Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

Vertrieb

Suske, Jan-Philipp
(Nord & Ost-Deutschland)
+49 721 4846-211

Fehrenbacher, Jürgen
(West-Deutschland)
+49 721 4846-230

Jerger, Konstantin
(Süd-Ost-Deutschland & Österreich)
+49 721 4846-213

Freyer, Mark
(Süd-West-Deutschland)
+49 721 4846-301

Dinkelbach, Jens
(PILine, Piezomotoren)
+49 721 4846-202

Fluck, Melanie
(Vertriebsassistentin)
+49 721 4846-218

**Auf der Römerstraße 1
D-76228 Karlsruhe
info@pi.ws • www.pi.ws**

PI Ceramic GmbH

Vertrieb

Möller, Frank (Deutschland)
+49 36604 882-200

Rößger, Dirk (International)
+49 36604 882-23

**Lindenstraße · D-07589 Lederhose
info@piceramic.de
www.piceramic.de**

Impressum

Herausgeber:
Physik Instrumente (PI)
GmbH & Co. KG
Auf der Römerstraße 1
D-76228 Karlsruhe

Verantwortlich für den Inhalt:
Dr. Karl Spanner

Redaktion:
Steffen Arnold, Stefan Vorndran,
Sandra Ebler

Gestaltung:
Regelmann Kommunikation, Pforzheim

Produktion:
Systemedia, Pforzheim

Nachdruck nach Abstimmung mit Herausgeber
unter Angabe von Quellennachweis.
Unterlagen werden zur Verfügung gestellt.

Termine 2010

**Besuchen Sie uns. Unser Experten-Team freut sich
auf ein fachkundiges Gespräch mit Ihnen.**

Hannover Messe	19. 04. – 23. 04. 2010	Hannover Halle 6, Stand J32
Control	04. 05. – 07. 05. 2010	Stuttgart Stand-Nr. 1216
ACTUATOR	14. 06. – 16. 06. 2010	Bremen
Optatec	15. 06. – 18. 06. 2010	Frankfurt Halle 3, Stand F26
MOTEK	13. 09. – 16. 09. 2010	Stuttgart
Semicon	19. 10. – 21. 10. 2010	Dresden Stand-Nr. 3.218
Electronica	09. 11. – 12. 11. 2010	München