

Schwingungsisolation für Industrie, Labor und Forschung

Piezoaktoren verbessern Wirkung, Zuverlässigkeit und Lebensdauer



Wenn ein System auf Grund einer Störung 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 konfuses Schwingungsbild mit unterschiedlichsten Frequenzen ergeben.

Man muss dann die Schwingung passiv durch geeignete Maßnahmen dämpfen oder besser noch das System von der Störquelle isolieren. Besonders mit einer aktiven Schwingungsisolierung reduzieren sich die Einschwingzeiten erheblich, die Präzision bei Mess- oder Fertigungsabläufen steigt und höhere Durchsatzraten sind realisierbar. Davon profitieren zum Beispiel Laboraufbauten, die Lasertechnologie, der Maschinenbau sowie optische Messtechnik, Mikroskopie und Mikrobearbeitung.

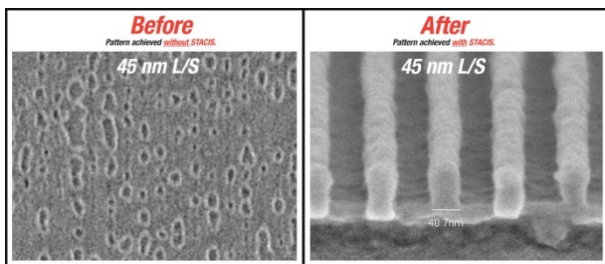


Abb. 1 Testmuster mit einer Linienbreite von 45 nm, ohne (a) und mit (b) STACIS-Schwingungsisolierung (Bild: Sematech)

Die bisher zur Schwingungsisolierung üblichen 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. Abb. 1 zeigt ein typisches Beispiel: Bei dem nicht hinreichend schwingungsisolierten Lithografiegerät sind die angestrebten 45 nm breiten Linien praktisch nicht erkennbar (a).

Die Abbildung daneben (b) zeigt das Ergebnis, wenn die Schwingungsisolierung aktive Verfahren nutzt, die die Schwingung nicht nur dämpfen sondern ihr aktiv entgegen wirken.



Abb. 2 Das aktive piezoelektrische Schwingungsisolierungssystem STACIS mit Controller (Bild: Linos Photonics)

Zum Problemlöser wurde hier ein aktives Isolierungssystem der Serie STACIS, das die Firma TMC Technical Manufacturing Corporation entwickelt hat (Abb. 2); für den Vertrieb zuständig ist Linos Photonics. Das System 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 (Abb. 3). Die Taktzeiten verkürzen sich und die Durchsatzraten steigen.

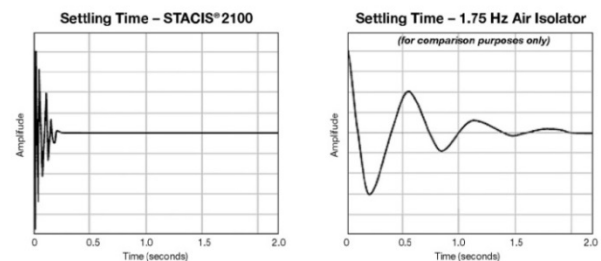


Abb. 3 Einschwingzeit als Reaktion auf die On-Board-Störung beim Beladen eines Mikroskop-Tisches mit dem Substrat (Bild: TMC)

Vibrationen in sechs Freiheitsgraden erfassen und kompensieren

Die aktiven Schwingungsisolatoren erfassen mit Hilfe integrierter Beschleunigungssensoren auftretende Vibrationen in sechs Freiheitsgraden. Die zur Kompensation notwendigen Gegenbewegungen erzeugen Piezoaktoren, die von einem Echtzeit-Digital-Signal-Prozessor angesteuert werden. Dieser bietet die notwendige Rechenleistung für die extrem schnellen Berechnungen zur Schwingungskompensation.



Abb. 4 STACIS-Isolation ist auch bei kleineren Geräten möglich, z. B. bei Raster-Elektronen-Mikroskopen (Bild: TMC)

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 für Metrologieausrüstung oder optische Lithographiesysteme, die mit Hilfe moderner Lasertechnologie heute mit Linienbreiten im Nanometerbereich schreiben.

Die Isolatoren können zudem gut mit bereits vorhandenen konventionellen pneumatischen Isolatoren zusammenarbeiten, diese also im unteren Frequenzbereich ergänzen, und sind in vielen Anwendungen sogar problemlos nachrüstbar. Auch für die Raster-Elektronen-Mikroskopie gibt es mittlerweile geeignete Ausführungen (Abb. 4), die sich dank ihrer geringen Baugröße gut in den vergleichsweise kompakten Mikroskopen integrieren lassen.

Schnelle Kraftpakete für hochpräzise Bewegungen

Die treibende Kraft der Isolatoren sind Piezoaktoren. Auf Grund ihrer spezifischen Eigenschaften bieten sie für den Einsatz in den Isolatoren die besten Voraussetzungen: Sie arbeiten mit Ansprechzeiten von wenigen Mikrosekunden und Auflösungen im Sub-Nanometerbereich. Gleichzeitig sind große Beschleunigungen von mehr als 10.000 g erreichbar und Lasten bis zu mehreren Tonnen lassen sich bewegen.

Da der Piezoeffekt auf elektrischen Feldern basiert, erzeugen Piezoaktoren keine Magnetfelder und werden auch nicht von solchen beeinflusst. Sich ändernde Umgebungstemperaturen beeinträchtigen den Piezoeffekt nicht.

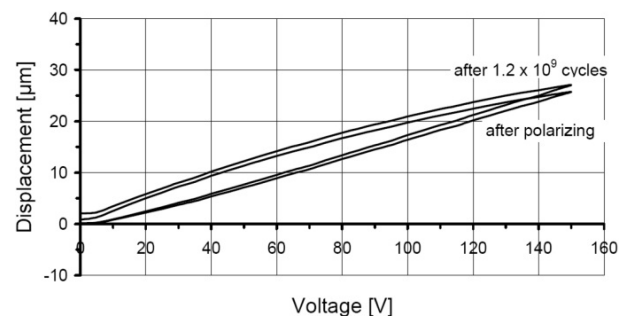


Abb. 5 Piezoaktoren von PI haben bei Langzeituntersuchungen mehrere Milliarden Zyklen ohne messbare Veränderungen des Verhaltens durchlaufen

Abnutzung ist bei dieser Technik ebenfalls nicht zu befürchten, da es keine Zahnräder, Lager oder andere verschleißanfällige Mechanik gibt. Die Bewegung basiert auf kristallinen Festkörpereffekten. Piezoaktoren von PI Ceramic beispielsweise haben bei Langzeituntersuchungen mehrere Milliarden Zyklen ohne messbare Veränderungen des Verhaltens durchlaufen (Abb. 5). Gleichzeitig können Piezos auch im Hinblick auf den Energieverbrauch punkten: Im statischen Betrieb benötigen sie praktisch keine Energie, selbst wenn schwere Lasten dauerhaft gehalten werden. Das Verhalten ist mit dem eines elektrischen Kondensators vergleichbar.

Piezos für die aktive Schwingungsisolierung

Die von TMC eingesetzten Piezoaktoren der PICA-Serie (Abb. 6) stammen von PI Ceramic, einer Tochtergesellschaft des Karlsruher Spezialisten für Präzisionspositionierung Physik Instrumente (PI). 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 bieten 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.



Abb. 6 Verschiedene Standard- und Sonderausführungen von PICA Stack Piezoaktoren

Im Prinzip bestehen diese Aktoren aus aufeinandergestapelten, piezokeramischen Scheiben, die durch Metallelektroden getrennt sind. Bei den PICA-Ausführungen sind die Schichten etwa 5 mm dick. Je dünner jedoch die einzelnen Schichten im Stapel sind, desto niedriger ist die Ansteuerspannung.

So genannte Multilayer-Aktoren, bei denen die Dicke der einzelnen Lagen lediglich um 60 μm beträgt, sind daher in industriellen Anwendungen sehr attraktiv (Abb. 7). Diese Aktoren erreichen bereits bei Betriebsspannungen deutlich unter 150 V ihre Nennauslenkung. Außerdem gelten sie als sehr robust. Sie sind durch eine vollkeramische Isolierschicht vor Luftfeuchtigkeit und Ausfällen durch erhöhten Leckstrom geschützt.



Abb. 7 Patentierte Technologie für höchste Betriebs- und Lebensdauer: PICMA

Interessant für Anwendungen im Bereich der Schwingungsisolierung sind auch die so genannten Piezo-Schreitantriebe (Abb. 8). Sie können einerseits große Stellwege für die Justage zurücklegen und verhalten sich andererseits aufgrund ihrer hohen Steifigkeit im Bereich von einigen Mikrometern wie klassische Piezoaktoren, können also Schwingungen isolieren.

In der Halbleiterindustrie setzt man sie deshalb ein, um über lithografische Verfahren Strukturbreiten von wenigen 10 nm störungsfrei und reproduzierbar herzustellen. Piezoaktoren erschließen damit der aktiven Schwingungsisolierung in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen interessante Möglichkeiten.

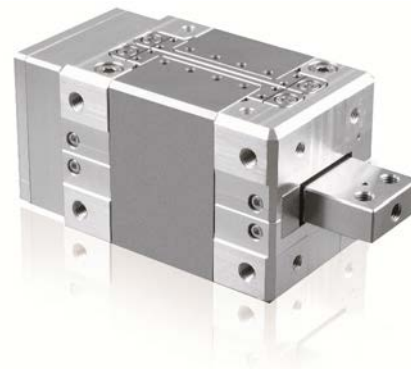


Abb. 8 Piezo-Schreitantriebe werden häufig in der Halbleiterindustrie, eingesetzt, um über lithografische Verfahren Strukturbreiten von wenigen 10 nm störungsfrei und reproduzierbar herzustellen

Über TMC

Die TMC Technical Manufacturing Corporation wurde 1969 gegründet. Heute gilt das Unternehmen mit Firmensitz in Peabody, Massachusetts, als Technologieführer bei Produkten rund um die Schwingungsisolierung. Isolationseinrichtungen von TMC waren bereits dabei, als bei Western Electric die ersten Transistoren gefertigt wurden.

Heute reicht die Palette von einfachen, kostengünstigen Desktop-Mikroskopen mit schwingungsisolierter Basis bis hin zu den aktiven Schwingungssystemen der STACIS Serie, die mit Sensoren, Piezoaktoren und digitalen Controllern ausgestattet sind und in den unterschiedlichsten Größen angeboten werden.

Zu den Kunden zählen große Forschungszentren, OEM- und Endkunden im Bereich der Halbleiterfertigung und viele Unternehmen, die sich mit Nanotechnologie befassen, z. B. in Mikroskopie und Mikrobiologie.

Über PI

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 fünfzehn ausländischen Vertriebs- und Serviceniederlassungen international vertreten.

Über 850 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.

Autoren



Dipl.-Phys. Steffen Arnold, Leiter „Markt und Produkte“ bei Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

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