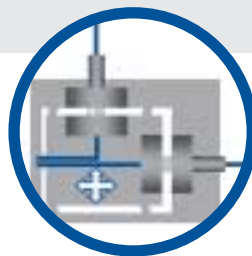
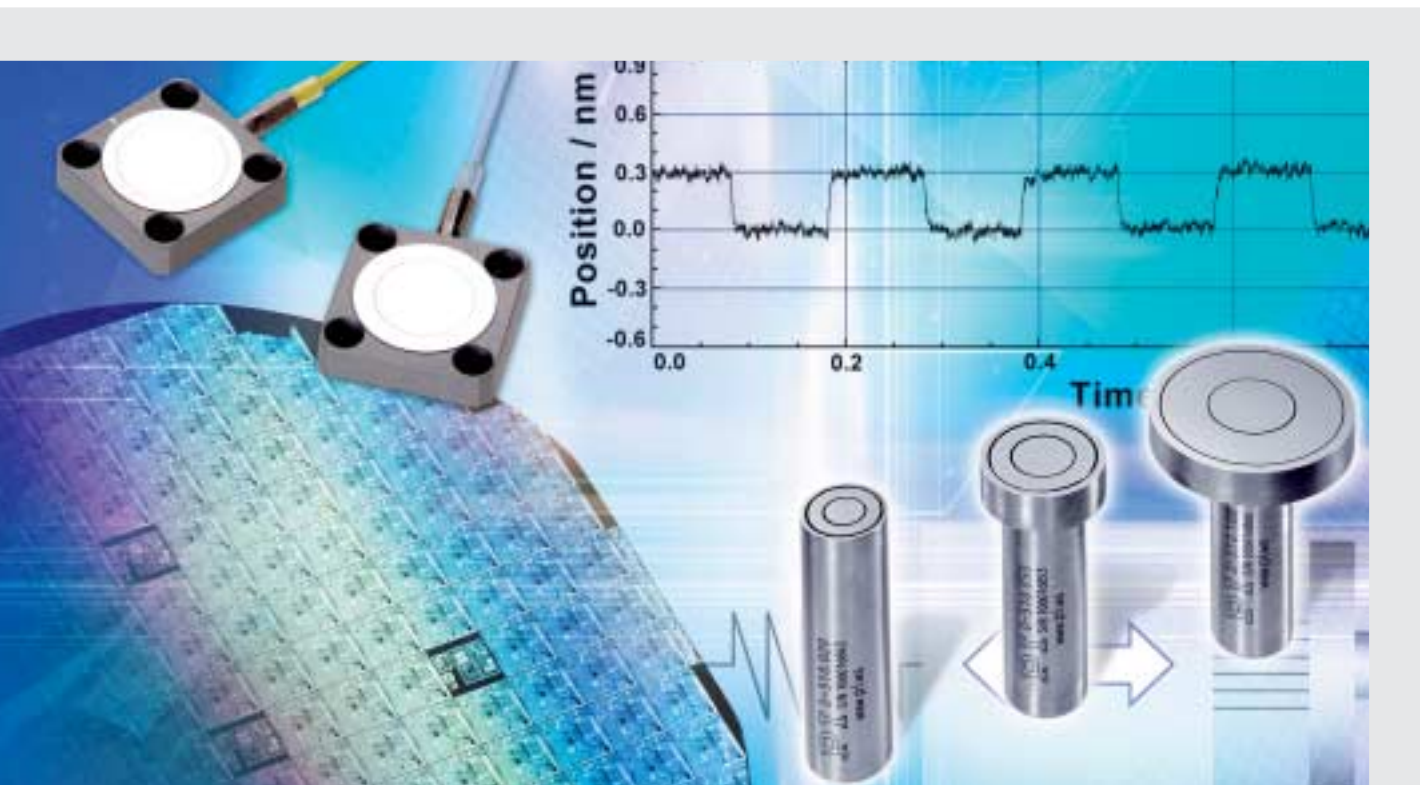


Kapazitive Positionssensoren – Nanomesstechnik



Kapazitive Positionsmesstechnik

Überblick



E-852 Signalauswerte-Elektronik für PISeCa™
Einelektroden-Sensoren mit D-510.020 Sensor

Eigenschaften kapazitiver Sensoren von PI

- Messbereiche von 10 bis 500 µm und mehr
- Positionsauflösung im Sub-Nanometerbereich
- Kontaktlose Absolutmessung von Abstand/Bewegung/
Vibration
- Verschleißfreies Verfahren
- Ideal für Mehrachsmessungen
- ILS Linearisierungselektronik für bessere Linearität
- Hohe Bandbreite bis 10 kHz
- Unmittelbare Positionsmessung am bewegten Objekt
(Direktmetrologie)
- Hohe Temperatur- und Langzeitstabilität (<0,1 nm/3 h)
- Vakuum kompatibel
- Kompakte Zweielektroden- und Einelektroden-Sensoren,
kundenspezifische Ausführungen
- Invar-Versionen für höchste Temperaturstabilität ($5 \times 10^{-6}/K$)

Ein- und Zwei-Elektroden Sensoren

Kapazitive Sensoren messen kontaktlos geometrische Größen wie Abstand, Position, Länge oder Dimension mit Subnanometer-Genauigkeit. PI bietet hierfür kapazitive Sensoren zur Integration in Kundensystemen sowohl in der Ausführung als höchst genaue Zweiplatten-Kondensatoren an, als auch als PISeCa™ Einplatten-Sensoren für die flexiblere Anwendung.

Messprinzip

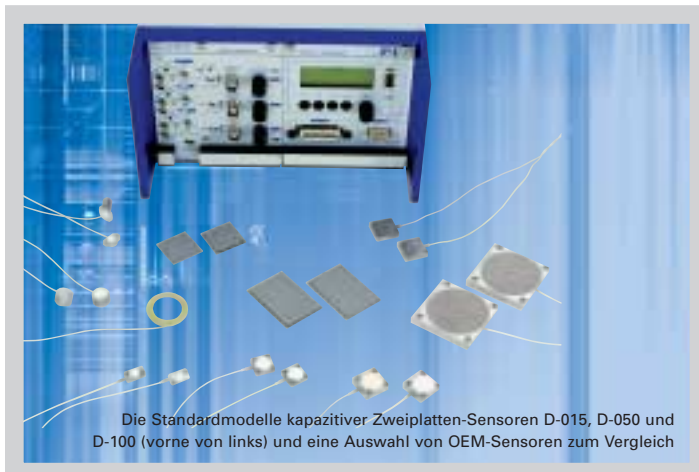
Das zugrunde liegende Funktionsprinzip ist in beiden Fällen dasselbe: Zwei leitende Flächen erzeugen ein homogenes elektrisches Feld, eine Abstandsänderung der beiden Flächen ist dem Ausgangssignal an der Messelektronik proportional. Die Messung erfolgt beim Zweiplatten-Sensor zwischen zwei definierten Sensorplatten, die durch perfekt aufeinander abgestimmte Oberflächen und damit Feldgenauigkeit optimale Ergebnisse liefern. Kapazitive Einplatten-Sensoren messen prinzipiell gegen jede Art von leitender Oberfläche und zeichnen sich durch einfachere mechanische Handhabung beispielsweise beim Einbau oder der Kabelführung aus.

Nanopositioniertechnik und Nanomesstechnik

PI bietet weltweit die größte Auswahl an hochdynamischen und hochauflösenden Nanopositioniersystemen. Die Präzision und Reproduzierbarkeit sind nicht denkbar ohne den Einsatz höchstauflösender Messverfahren. Hier bieten kapazitive Sensoren die besten Ergebnisse. Sowohl Sensoren als auch die entsprechende Elektronik werden bei PI von erfahrenen Entwicklungs- und Fertigungsteams betreut.

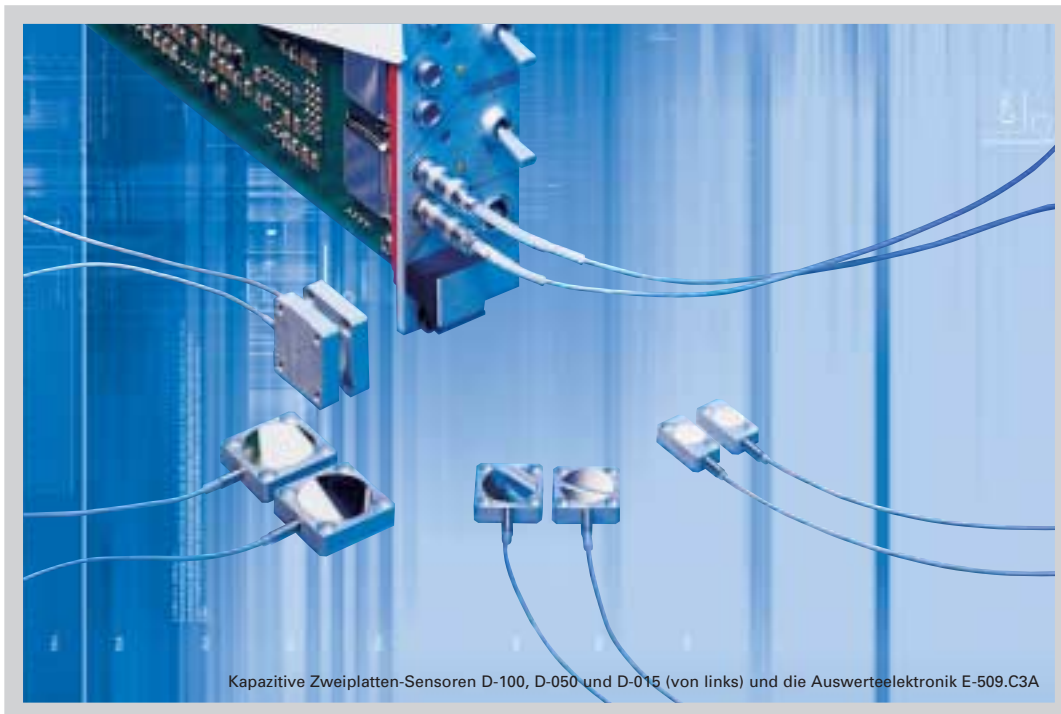
Test und Kalibrierung

Die hauseigenen Nanometrologielabors entsprechen modernsten Standards und sind mehrfach gegen seismische, thermische und elektromagnetische Einflüsse isoliert. Jedes kapazitive Messsystem wird hier vermessen und kalibriert. Diese Präzision ist die Grundvoraussetzung für alle Produkte von PI, Standard- wie Sonderanfertigungen, und sichert die optimale Umsetzung von spezifischen Kundenanforderungen.



Die Standardmodelle kapazitiver Zweiplatten-Sensoren D-015, D-050 und D-100 (vorne von links) und eine Auswahl von OEM-Sensoren zum Vergleich

Funktion, Eigenschaften, Vorteile



Kapazitive Zweiplatten-Sensoren D-100, D-050 und D-015 (von links) und die Auswerteelektronik E-509.C3A



D-510.050: Einfache Handhabung und Systemintegration durch LEMO-Steckverbindung

PC-Interface/Display-Module zur Verfügung.

Ideal für positionsgeregelte Piezo-Nanostellensysteme

Für den Betrieb geregelter Systeme mit kapazitiven Sensoren bietet PI Sensor-/Servocontrollermodule auf Basis der Serie E-500 an. Hier können pro Modul bis zu drei externe oder im Stellsystem integrierte Positionssensoren angeschlossen werden. Drift bzw. Hysterese, die im spannungsgesteuerten Piezobetrieb auftreten, werden dadurch automatisch eliminiert.

Für Nanopositionieraufgaben mit den höchsten Genauigkeitsanforderungen stehen digitale Controller von PI zur Verfügung.

Genauigkeit

Genauigkeit, Linearität, Auflösung, Stabilität und Bandbreite liegen dabei deutlich über den Werten, die mit konventionellen LVDT- oder DMS-Sensoren erreicht werden. Dabei ist die Messung durch das kontaktlose Prinzip vollkommen verschleiß- und hysteresefrei und beeinflusst die eigentliche Anwendung nicht.

Schutzringkondensator für verbesserte Linearität

Die Sensorgeometrie hat großen Einfluss auf die Linearität der Messung. Durch den von PI verwirklichten Aufbau mit zusätzlicher Schutzringelektrode werden störende Randeffekte ausgeschlossen. Im Messbereich wird so ein sehr homogenes elektrisches Feld erzeugt, was eine sehr hohe Linearität zur Folge hat.

Ein- und Mehrkanalelektronik

Die von PI entwickelte Messelektronik wurde speziell auf

die konstruktiven Eigenschaften der Sensoren abgestimmt, um die Vorteile des kapazitiven Messprinzips optimal umzusetzen. PI bietet Signalauswerteelektronik mit minimalem Rauschen für ein bis drei Kanäle an. Die Mehrkanalelektronik basiert auf dem modularen E-500 Controller-System. Bandbreite und Messbereich können werkseitig optimal auf die Applikation abgestimmt werden. Die einkanalige Version E-852 für PISeca™ Einelektroden-Sensoren bietet dem Kunden die Möglichkeit, Bandbreite und Messbereich selbst zu variieren, um ein optimales Messergebnis zu erzielen.

Optimierte Linearität durch integriertes Linearisierungssystem (ILS)

Alle Elektroniken von PI verwenden das integrierte Linearisierungssystem (ILS), das die Einflüsse von Parallelitätsfehlern zwischen den Kondensatorplatten kompensiert.

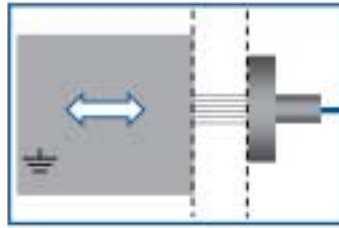
Einfache Handhabung und Integration

Insbesondere die Einelektroden-Sensoren der PISeca™ Serie zeichnen sich durch einfache und flexible Handhabung aus. Eine optische Justagehilfe an der Einkanal-Elektronik erleichtert den Einbau in die Messanordnung bei verschiedenen einstellbaren Messbereichen. Für die Mehrkanalelektronik stehen Display- und



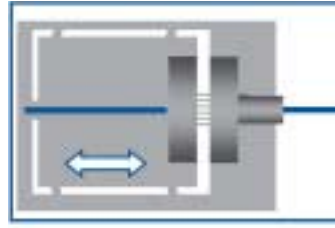
Das Piezo-Nanopositioniersystem P-752.11C mit integrierten kapazitiven Sensoren bietet eine Positionsauflösung bis 0,1 nm

Anwendungen kapazitiver Positionssensoren



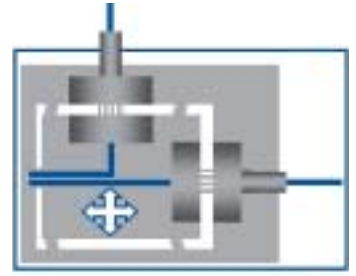
Abstandsmessung mit Nanometergenauigkeit

Kapazitive Sensoren messen zuverlässig kleinste Abstände. Messgröße ist hierbei die Kapazitätsänderung zwischen der Oberfläche des Sensorkopfs und einer Targetfläche bei homogenem elektrischen Feld. Dabei werden Genauigkeiten im Sub-Nanometerbereich erreicht. Ein kalibriertes und justiertes System bestimmt Absolutwerte.



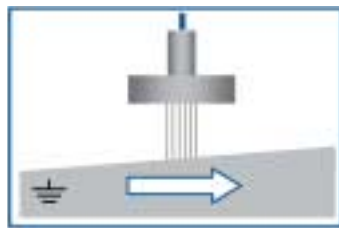
Nanostelltechnik/positions-geregelte Systeme

Eine Anwendung der hochauflösenden Abstandsmessung ist die Nanostelltechnik. Kapazitive Zweiplatten-Sensoren messen hier direkt Abstand und Ist-Position des bewegten Objekts mit allerhöchster Präzision. Durch die hohe Bandbreite der Sensoren ist die Regelung auch im dynamischen Betrieb möglich.



Parallelmetrologie/hochgenaue Mehrachsenmessungen

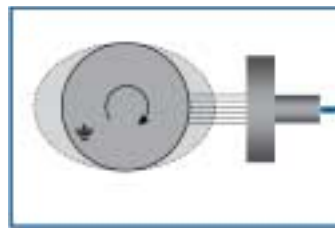
Für mehrachsige geregelte Nanopositionieraufgaben kombinieren hochgenaue Versteller mit kapazitiven Sensoren Direktmetrologie und Parallelkinematik. Beim Einsatz in Mehrachsen-Nanopositioniersystemen können somit alle Freiheitsgrade gleichzeitig gemessen und Führungsfehler aktiv eliminiert werden (Aktive Führung). Kapazitive Sensoren sind hier die genauesten Messsysteme für beste Positionsauflösung.



Geradheits- und Ebenheitsmessung/Aktive Übersprechkompensation

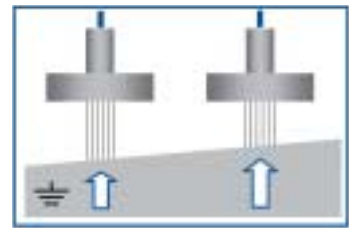
Über längere Stellwege ist die Messung von Geradheit oder Ebenheit einer Bewegung mit hervorragender Auflösung durch den Einsatz kapazitiver Einplatten-Sensoren möglich. Eine mögliche Anwendung hierfür ist die CrossTalk-Messung in der Nanostelltechnik.

Unerwünschtes Übersprechen der Bewegung in eine andere Achse kann so detektiert und in Echtzeit aktiv ausgeglichen werden. Die hohe Bandbreite der Sensoren ermöglicht eine hohe Dynamik.



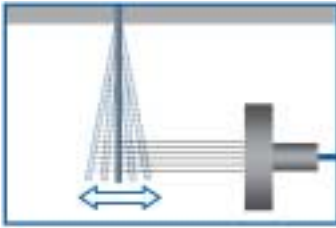
Out-of-Plane Messung/Constant-Height/Unrundmessung

Insbesondere zur Kompensation von welligen Bewegungen bzw. Wellenschwingungen beispielsweise bei Constant-Height-Scans oder in der Weißlichtinterferometrie kommen kapazitive Sensoren zum Einsatz.



Verkipfungsmessung/-kompensation

Die Integration von kapazitiven Sensoren in einen Messaufbau sorgt für präzise Verkipfungsmessung. Hier wird die Verkipfung des bewegten Objekts differenziell bestimmt und gegebenenfalls kompensiert.

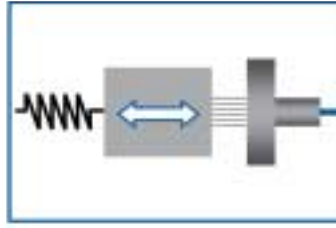


Vibrationsmessung, Ebenheitsmessung, Dickenmessung

Die hohe Dynamik des PISecca™ Systems erlaubt auch die Messung von Vibrationen oder Schwingungen mit sehr hoher Auflösung.

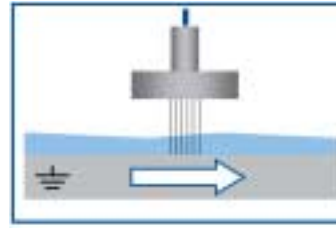
Die Ebenheit eines rotierenden Werkstückes oder Dickenunterschiede im Nanometerbereich können somit ebenfalls detektiert werden.

Ein mögliches Einsatzgebiet ist zum Beispiel die Herstellung von Diskettenlaufwerken oder die aktive Schwingungskompensation.



Kraftsensoren mit Mikro-Newton Empfindlichkeit

Häufig werden kapazitive Einplatten-Sensoren als hochauflösende Kraftsensoren für die kontaktlose Messung im Mikro-Newtonbereich eingesetzt. Hier werden minimale Abstandsänderungen über größere Abstände berührungslos mit Auflösung im Sub-Nanometerbereich gemessen ohne den zu messenden Prozess zu beeinflussen. Über die definierte Steifigkeit des Systems ergibt sich die Kraft.



Schichtdickenmessung mit Sub-Mikrometergenauigkeit

Für die Dickenmessung von Nicht-Leitern auf einer bewegten, leitenden Oberfläche (z.B. einer Walze) eignen sich die Sensoren aufgrund des berührungslosen Messprinzips und der hohen Dynamik.

Modellübersicht

Kapazitive Positionssensoren

Modelle*	Nominaler Messbereich [µm]*	Erweiterter Messbereich [µm]*	Material*	Hinweise
D-510.020	20	bis 100	Edelstahl	PISeca™ Einelektroden-Sensoren, Sub-Nanometer Auflösung und exzellente Linearität, einfache Integration, erweiterte Messbereiche auf Anfrage
D-510.050	50	bis 250	Edelstahl	
D-510.100	100	bis 500	Edelstahl	
D-015	15	45	Aluminium	Zweielektroden-Sensoren mit Sub-Nanometer Auflösung, andere Materialien auf Anfrage
D-050	50	150	Aluminium	
D-100	100	300	Aluminium	



*Kundenspezifische Ausführungen auf Anfrage! (Messbereich, Material, Abmessungen)

Sensor-Elektronik

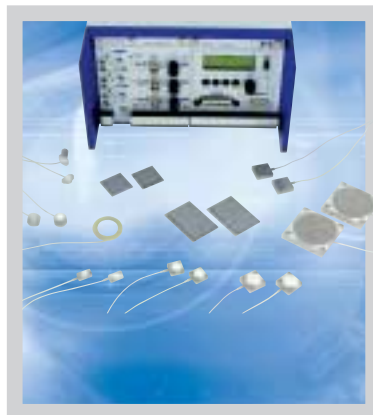
Modelle*	Linearität	Auflösung (% des Messbereichs, max. Bandbreite)	Max. Bandbreite (kHz)	Kanäle	Hinweise
E-852*	<0,1 %	<0,002	6,6	1	Signalauswertelektronik für PISeca™ Einelektroden-Sensoren, ein Kanal
E-509.E03	<0,1 %	<0,002	10	3	Signalauswertemodul für PISeca™ Einelektroden-Sensoren, erweiterbar mit Display- oder PC-Interface-Modul
E-509.E3	<0,1 %	<0,002	10	3	Servo-Controllermodul für PISeca™ Einelektroden-Sensoren, erweiterbar mit Display- oder PC-Interface-Modul
E-509.CxA	<0,05 %	0,0005	3	1 bis 3	Servo-Controllermodul für Piezo-Nanopositioniersysteme mit Zweielektroden-Sensoren, erweiterbar mit Piezoverstärkermodulen, Display- oder PC-Interface-Modul



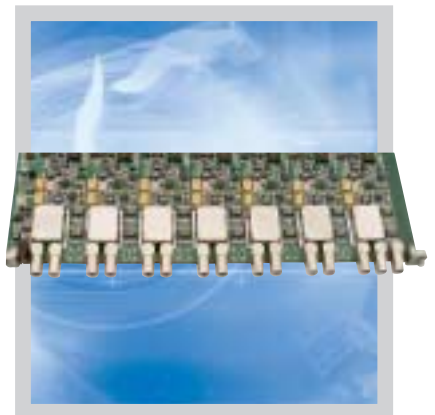
*Kundenspezifische Ausführungen auf Anfrage! (Messbereich, Material, Abmessungen)



Das 3-kanalige Signalauswertemodul E-509.E03 mit dem E-515 Displaymodul im E-501 Chassis, im Vordergrund die PISeca™ Einelektroden-Sensoren D-510.050, D-510.020 und D-510.100 (v.l. n. r.)



Kapazitive Zweiplatten-Sensoren mit Elektronik. Im Vordergrund die Standard-Sensormodelle D-015, D-050 und D-100 (v.l. n. r.) und eine Auswahl kundenspezifischer Sensoren, hinten das 3-Kanal Sensor-/ Servocontrollermodul E-509.C3A in einem E-501 Chassis



Kundenspezifische 7-Kanal-Auswertelektronik für kapazitive Sensoren

D-510

PISeca™ Kapazitive Einelektroden-Sensoren mit hervorragender Auflösung



Anwendungsbeispiele

- Halbleiterfertigung / Halbleiterindustrie
- Datenspeicherung
- Automobilindustrie
- Metrologie
- Maschinenbau

Bestellinformation

D-510.020

PISeca™, Kapazitiver Einelektroden-Sensor, 8 mm Durchmesser, 20 µm nominaler Messbereich

D-510.050

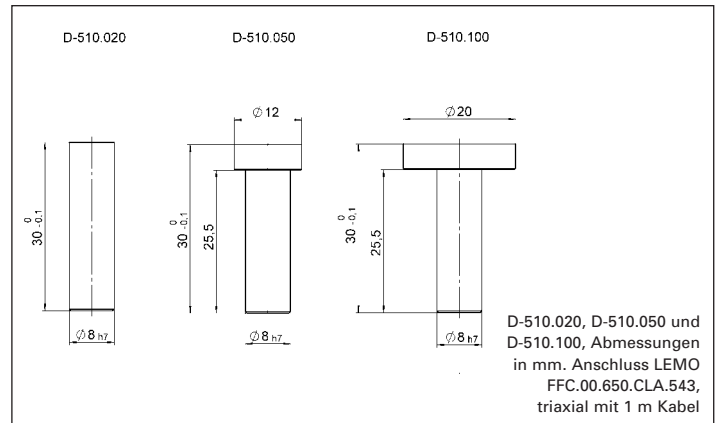
PISeca™, Kapazitiver Einelektroden-Sensor, 12 mm Durchmesser, 50 µm nominaler Messbereich

D-510.100

PISeca™, Kapazitiver Einelektroden-Sensor, 20 mm Durchmesser, 100 µm nominaler Messbereich

Sonderausführungen auf Anfrage!

- Berührungslose Wegmessung
- Abstandsmessung auf Absolutwerte
- Hochauflösend im Nanometerbereich
- Flexibler Messbereich
- Einfach zu integrieren
- Vibrationsmessung
- Plug & Play: Einfach in der Handhabung



Technische Daten

	D-510.020	D-510.050	D-510.100	Einheit
Sensorart	Einelektroden, kapazitiv	Einelektroden, kapazitiv	Einelektroden, kapazitiv	
Messgenauigkeit				
Nominaler Messbereich*	20	50	100	µm
Min. Messabstand	10	25	50	µm
Max. Messabstand	150	375	750	µm
Statische Auflösung**	<0,001	<0,001	<0,001	% des Messbereichs
Dynamische Auflösung**	<0,002	<0,002	<0,002	% des Messbereichs
Linearität***	<0,2	<0,1	<0,1	%
Mechanische Eigenschaften				
Aktiver Sensordurchmesser	3,8	6	8,4	mm
Aktive Sensorfläche	11,2	27,9	56,1	mm ²
Sensordurchmesser	8	12	20	mm
Sensorfläche	50,3	113,1	314,0	mm ²
Durchmesser Befestigungsschaft	8	8	8	mm
Anschlüsse und Umgebung				
Betriebstemperaturbereich	-20 bis +100	-20 bis +100	-20 bis +100	°C
Material	Edelstahl	Edelstahl	Edelstahl	
Masse	8	10	16	g
Empfohlene Auswerteelektronik	E-852.10	E-852.10	E-852.10	

* Mit E-852.10 sind mehrere erweiterte Messbereiche verfügbar, jeweils zwei Messbereiche werden kalibriert

** Statisch: Bandbreite 10 Hz, dynamisch: Bandbreite 6,6 kHz, mit Auswerteelektronik E-852.10

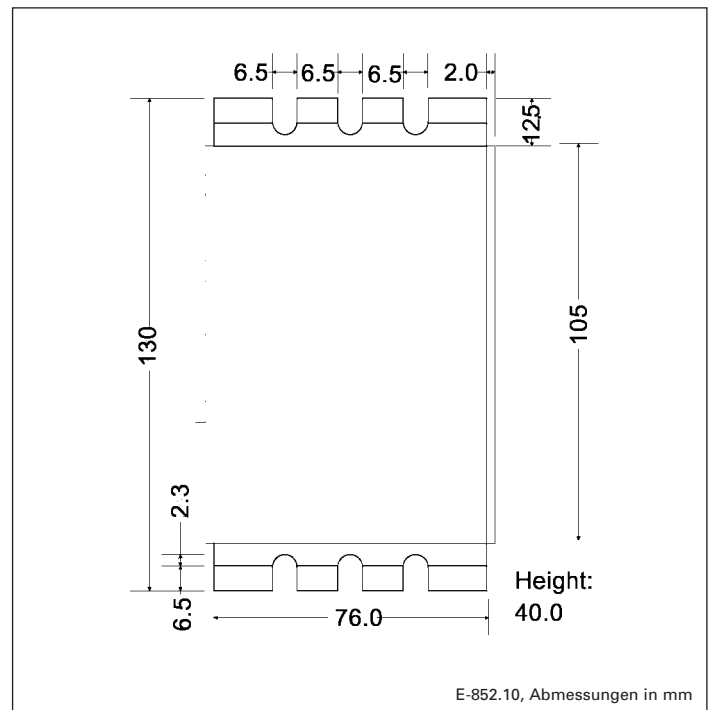
*** Linearität im nominalen Messbereich

E-852

PISeca™ Kompakte Auswertelektronik für kapazitive Einelektroden-Sensoren



- Preisgünstige Systemlösung für PISeca™ Kapazitivsensoren
- Optimale Linearität durch integrierte Linearisierungsfunktion (ILS)
- Einstellbare Bandbreite von 10 Hz bis 6,6 kHz
- Variabler Messbereich (x1 / x2 / x2,5 / x5)
- LED Messbereichsanzeige ermöglicht einfache Sensorjustage
- Externe Synchronisierbarkeit für Mehrkanalanwendungen



Technische Daten

	E-852
Funktion	Auswertelektronik für PISeca™
Kanäle	1
Sensor	
Sensortyp	Einelektroden, kapazitiv
Sensorbandbreite	6,6 / 3 / 0,3 kHz 1,1 / 0,1 / 0,01 kHz (optional)
Erweiterungsfaktor für den Messbereich*	1 & 2,5 (kalibriert); 2 & 5 (optional)
Externe Synchronisierbarkeit	Auto Master-Slave
Temperaturstabilität	0,71 ±0,25 mV / °C
Elektrische Eigenschaften	
Ausgangsspannung	-10 bis +10 / -5 bis +5 / 0 bis +10 V (wählbar)
Ausgangssignal	1 kΩ / 1 nF
Versorgungsspannung	±15 V (125 mA), +5 V (20 mA) (E-852.PS) / ±15 V
Statische Auflösung**	<0,001% des Messbereichs (RMS)
Dynamische Auflösung**	<0,002% des Messbereichs (RMS)
Rauschfaktor***	0,14 ppm / √Hz
Linearität im nominalen Messbereich	<0,1% (<0,2% für D-510.020)
Schnittstellen und Bedienung	
Sensoranschluss	LEMO ECP.00.650.NLL.543 Triaxbuchse
Signalausgang	BNC
Display und Anzeigen	LED Leiste
Linearisierung	ILS
Umgebung	
Betriebstemperaturbereich	+5 bis +40 °C
Masse	0,355 kg, E-852.PS: 1,2 kg
Abmessungen	80 x 130 x 40 mm, E-852.PS: 100 x 170 x 62 mm
Target Ground Anschluss	Bananenbuchse

Anwendungsbeispiele

- Halbleiterfertigung / Halbleiterindustrie
- Datenspeicherung
- Automobilindustrie
- Metrologie
- Maschinenbau

Bestellinformation

E-852.10
PISeca™ kompakte Auswertelektronik für Einelektroden-Kapazitivsensoren, 1 Kanal (mit rauscharmern Netzteil E-852.PS)

Sonderausführungen auf Anfrage!

* Erweiterungsfaktor bezogen auf den nominalen Messbereich des jeweiligen Sensorkopfes D-510

** Statisch: Bandbreite 10 Hz, dynamisch: Bandbreite 6,6 kHz, 1 m Kabel

*** Spezifikationen in ppm (parts per Million) bezogen auf den nominalen Messbereich

E-509.E03 • E-509.E3

Modulare 3-Kanalelektroniken zur Sensorauswertung / Positionsreglung für PISeCa™



Das Signalauswertemodul E-509.E03 im 9,5"-Chassis E-501 (links) mit einem E-515 Displaymodul



Das Servocontrollermodul E-509.E3 im 9,5"-Chassis E-501 mit E-503 Piezoverstärkermodul und E-516 PC-Interface/Displaymodul erlaubt die Regelung von Piezo-Nanopositioniersystemen mit externen PISeCa™ Einelektroden-Sensoren D-510 (vorne im Bild)

- Einschubmodule für E-500 / E-501 Chassis
- E-509.E03: 3-Kanal Sensormodul
- E-509.E3: 3-Kanal Sensormodul mit zusätzlichem Servocontroller für Piezosysteme
- Hervorragende Linearität durch integrierte Linearisierungsfunktion (ILS)
- Verschiedene Messbereiche (optional)
- Verschiedene Bandbreiten (optional)

Anwendungsbeispiele

- Halbleiterfertigung / Halbleiterindustrie
- Datenspeicherung
- Automobilindustrie
- Metrologie
- Maschinenbau

Bestellinformation

E-509.E03

PISeCa™ Modulare Auswertelektronik für Einelektroden-Kapazitivsensoren, 3 Kanäle

E-509.E3

PISeCa™ Sensor- / Servocontrollermodul für kapazitive Einelektroden-Sensoren, 3 Kanäle

Zubehör:

E-500.00

19"-Chassis für modulares Piezocontroller-System, 1 bis 3 Kanäle

E-501.00

9,5"-Chassis für modulares Piezocontroller-System, 1 bis 3 Kanäle

E-515.03

Displaymodul für Auslenkung und Piezospaltung, 3 Kanäle

E-516.i3

Schnittstellen- / Displaymodul, 20 Bit D/A, IEEE 488 / RS-232, 3 Kanäle

E-503.00

LVPZT-Piezoverstärkermodul, -20 bis +120 V, 3 Kanäle

E-515.E3

Analogausgang für Reglersignal, Einschubmodul, 3 Kanäle

Sonderausführungen auf Anfrage!

Technische Daten

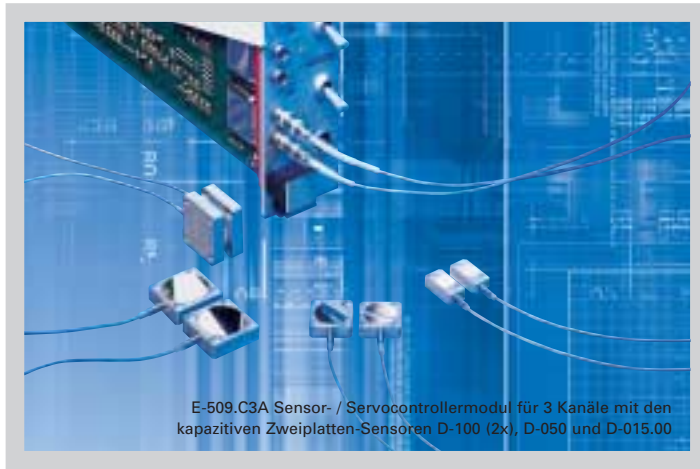
	E-509.E03	E-509.E3
Funktion	Sensorauswertelektronik für PISeCa™	Sensor- / Servocontrollermodul für PISeCa™
Kanäle	3	3
Sensor		
Reglertyp	–	Analog, P-I und Notchfilter
Sensortyp	PISeCa™ Einelektroden, kapazitiv	PISeCa™ Einelektroden, kapazitiv
Sensorbandbreite	3 kHz 0,3 / 3 / 10 kHz (optional)	3 kHz 0,3 / 3 / 10 kHz (optional)
Erweiterungsfaktor für den Messbereich*	2 / 2,5 / 5 (optional)	2 / 2,5 / 5 (optional)
Synchronisierbarkeit	3 synchronisierte Kanäle	3 synchronisierte Kanäle
Elektrische Eigenschaften		
Ausgangsspannung	±5 V (0–10 V)	±5 V (0–10 V)
Versorgungsspannung	erfordert E-530 / E-531 Netzteil (z. B. E-500 / E-501 System)	erfordert E-530 / E-531 Netzteil (z. B. E-500 / E-501 System)
Statische Auflösung**	<0,001 % des Messbereichs (RMS)	<0,001 % des Messbereichs (RMS)
Dynamische Auflösung**	<0,002 % des Messbereichs (RMS)	<0,002 % des Messbereichs (RMS)
Linearität im nominalen Messbereich	<0,1 % (<0,2 % für D-510.020)	<0,1 % (<0,2 % für D-510.020)
Schnittstellen und Bedienung		
Sensoranschluss	3 x LEMO ECP.00.650.NLL.543 Triaxbuchse	3 x LEMO ECP.00.650.NLL.543 Triaxbuchse
Signalausgang	LEMO 6-pol. FGG.0B.306.CLAD56	LEMO 6-pol. FGG.0B.306.CLAD56
Display und Anzeigen	3 x Overflow LED	3 x Overflow LED
Linearisierung	ILS	ILS
Umgebung		
Betriebstemperaturbereich	+5 bis +40 °C	+5 bis +40 °C
Abmessungen	7T/3H	7T/3H
Target Ground Anschluss	3 x Bananenbuchse	3 x Bananenbuchse

* Erweiterungsfaktor bezogen auf den nominalen Messbereich des jeweiligen Sensorkopfes D-510, bei Bestellung angeben

** Statisch: Bandbreite 300 Hz, dynamisch: Bandbreite 10 kHz, 1 m Kabel

D-015 · D-050 · D-100

Kapazitive Zweiplatten-Positionssensoren mit Auflösung im Sub-Nanometerbereich



E-509.C3A Sensor- / Servocontrollermodul für 3 Kanäle mit den kapazitiven Zweiplatten-Sensoren D-100 (2x), D-050 und D-015.00

- Für Anwendungen mit den höchsten Genauigkeitsanforderungen
- Messbereich bis zu 1000 µm
- Auflösung bis 0,01 nm
- Linearität bis 0,01 % (mit E-509.CxA)
- Bandbreite bis zu 10 kHz
- Regelelektronik E-509.CxA, kompatibel zum E-500 Controllersystem
- Sonderausführungen

Anwendungsbeispiele

- Halbleiterfertigung
- Metrologie
- Maschinenbau

E-509.C1A · 2A · 3A

Sensor-/Servocontrollermodule für Piezomechaniken mit kapazitiven Sensoren

- Positionsregelmodul für Piezos mit kapazitiven Zweiplatten-Sensoren
- 1-, 2- und 3-Kanal-Versionen
- Für geregelte Nanopositioniersysteme mit maximaler Präzision
- Verbesserte Linearität durch integriertes Linearisierungssystem (ILS)
- Eliminiert Drift und Hysterese
- Erhöht die Piezostefigkeit

Bestellinformation

D-015.00
Kapazitiver Zweiplatten-Positionssensor, 15 µm, Aluminium

D-050.00
Kapazitiver Zweiplatten-Positionssensor, 50 µm, Aluminium

D-100.00
Kapazitiver Zweiplatten-Positionssensor, 100 µm, Aluminium

Sonderausführungen auf Anfrage!

E-509.C1A
Sensor-/Servocontrollermodul, kapazitiver Sensor, 1 Kanal

E-509.C2A
Sensor-/Servocontrollermodul, kapazitive Sensoren, 2 Kanäle

E-509.C3A
Sensor-/Servocontrollermodul, kapazitive Sensoren, 3 Kanäle

Zubehör:

E-500.00
19"-Chassis für modulares Piezocontroller-system, 1 bis 3 Kanäle

E-501.00
9,5"-Chassis für modulares Piezocontroller-system, 1 bis 3 Kanäle

E-515.03
Displaymodul für Auslenkung und Piezospaltung, 3 Kanäle

E-516.i3
Schnittstellen-/Displaymodul, 20 Bit D/A, IEEE 488 / RS-232, 3 Kanäle

Technische Daten

	D-015.00	D-050.00	D-100.00	Einheit
Sensor				
Sensortyp	Kapazitiv	Kapazitiv	Kapazitiv	
Nominaler Messbereich	15	50	100	µm
Erweiterter Messbereich	45	150	300	µm
Auflösung*	0,0005	0,0005	0,0005	% des Messbereichs
Linearität	0,003	0,003	0,003	%
Aktive Sensorfläche	16,60	67,70	113,10	mm²
Thermische Drift**	50	50	50	ppm/K
Anschlüsse und Umgebung				
Betriebstemperaturbereich	-20 bis 80	-20 bis 80	-20 bis 80	°C
Material***	Aluminium	Aluminium	Aluminium	
Empfohlene Auswertelektronik	E-509.CxA	E-509.CxA	E-509.CxA	

* bei 3 kHz, mit E-509.C3A

** Änderung der aktiven Oberfläche in ppm (parts per million) bezogen auf den Messbereich

*** Andere Materialien auf Anfrage

Technische Daten

	E-509.C1A / E-509.C2A / E-509.C3A
Funktion	Sensor- und Positionsregel-elektronik für Piezomechaniken
Sensor	
Reglertyp	Analog, Proportional Integral + Notchfilter
Sensortyp	Kapazitive Zweiplatten-Sensoren
Sensorkanäle	1 / 2 / 3
Sensorbandbreite	0,3 bis 3 kHz (m. Jumper einstellbar); bis 10 kHz auf Anfrage
Messbereiche	nominal, x3
Temperaturdrift*	-30 ppm/°K
Rauschfaktor*	0,115 ppm / √Hz
Linearitätsfehler	<0,05%
Schnittstellen und Bedienung	
Sensoranschluss	LEMO EPL.00.250.NTD
Analogmonitor	±5 V (0 V-10 V)
Sensormonitorbuchse	LEMO 6-pol. FGG.0B.306.CLAD56
Unterstützte Funktionen	ILS
Display und Anzeigen	Overflow LED (eine pro Kanal)
Linearisierung	ILS
Umgebung	
Betriebstemperaturbereich	+5 bis +50 °C
Abmessungen	7T/3H
Masse	0,2 / 0,25 / 0,35 kg
Betriebsspannung	±15 V erfordert E-530 / E-531 Netzteil (z. B. E-500 / E-501 System)

*Spezifikationen in ppm (parts per Million) bezogen auf den Messbereich.

Tutorium

Auflösung / Bandbreite

Auflösung in der Positionierung bezeichnet die kleinste Abstandsänderung, die vom System unterschieden werden kann.

Für kapazitive Sensoren ist die Auflösung prinzipiell unbegrenzt und wird in der Praxis nur vom Rauschen der Auswertelektronik limitiert. Signalauswertelektronik von PI ist mit dem Ziel der Rauschminimierung entwickelt, wodurch kapazitive Sensoren praktisch eine Auflösung bis in den Picometerbereich erreichen.

Das elektronische Rauschen ist direkt abhängig von der Bandbreite des Sensorsignals. Eine Einschränkung der Bandbreite minimiert das Rauschen und verbessert damit die Auflösung.

Auch der Messabstand beeinflusst die Auflösung: je kleiner der Messbereich gewählt wird, umso geringer ist der Absolutwert des Elektronik-Rauschens.

Abbildung 1 zeigt im Vergleich die Positionsauflösung eines kapazitiven Positionssensors D-015 mit 15 μm Messbereich und eines Laserinterferometers, die beide Bewegungen im Nanometerbereich messen. Deutlich ist die überlegene Auflösung der kapazitiven Methode zu erkennen.

Abbildung 2 zeigt den Einfluss der Bandbreite auf die Auflösung. Die Einelektroden-Sensoren von PI bieten auch bei hoher Bandbreite eine hervorragende Auflösung bis zu 1 nm.

Linearität und Stabilität von PI-Sensoren

Die Linearität einer Messung bezeichnet die Proportionalität zwischen Abstandsänderung der Sensorplatten und Ausgangssignal. Die Angabe erfolgt üblicherweise als Linearitätsfehler in % des gesamten Messbereichs. Ein Fehler von 0,1% über einen Messbereich von 100 μm ergibt somit eine mögliche Abweichung des Messwertes zum Ist-Wert von 0,1 μm . Linearitätsfehler haben keinen Einfluss auf die Auflösung und Reproduzierbarkeit der Messung.

Die Linearität wird in hohem Maß von der Homogenität des elektrischen Feldes zwischen den Sensorelektroden und damit von der Parallelität der Sensorplatten in der Messanordnung bestimmt.

Das in die Elektronik integrierte Linearisierungs-System (ILS) kompensiert die Einflüsse von Parallelitätsfehlern weitestgehend. Abb. 3 zeigt den Vergleich zwischen einem konventionellen kapazitiven Messsystem und dem ILS-System von PI. Bei Verwendung digitaler Controller für Nanopositioniersysteme wie z. B. dem E-710 sind Messvorgänge mit einer Linearität bis zu 0,003% realisierbar.

Der Vorteil des ILS-Systems in der Praxis ist in Abb. 4 zu sehen: Die Messkurve zeigt die Linearität eines P-752.11C Piezo-Nanopositioniersystems mit integriertem Kapazitivsensor im geschlossenen Regelkreis. Die hervorragende Linearität, bis zu 0,02% mit

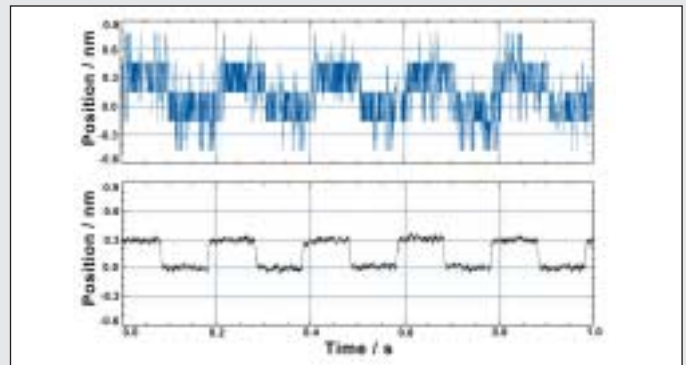


Abb. 1: Bewegung eines Piezo-Nanopositioniersystems mit 0,3 nm Schritten, gemessen mit einem kapazitiven Sensor von PI (untere Kurve) und mit einem hochgenauen Laserinterferometer (Modell Zygo ZMI 2000, obere Kurve). Der kapazitive Sensor zeigt eine noch wesentlich höhere Auflösung als das Interferometer

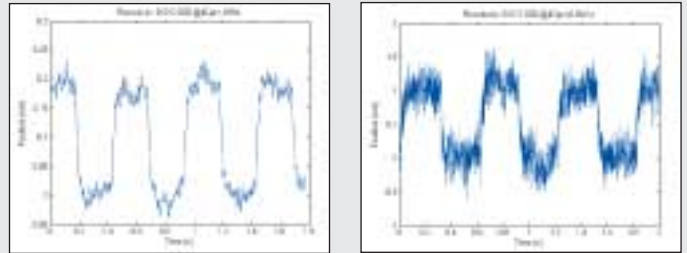


Abb. 2: Eine Auflösung deutlich unter einem Nanometer erreicht der PISeca™ Einelektroden-Sensor D-510.020 und E-852.10 Signalauswertelektronik, links 0,2 nm-Schritte bei 10 Hz, rechts 1 nm-Schritte bei maximaler Bandbreite von 6,6 kHz

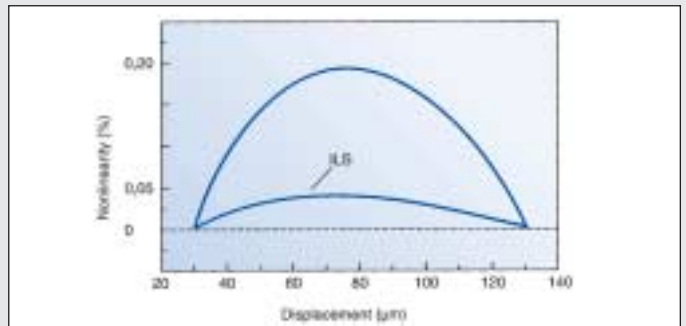


Abb. 3: Linearität eines konventionellen kapazitiven Sensors im Vergleich mit dem ILS (Integrated Linearization System) von PI. Beim Einsatz der digitalen Linearisierung sind noch bessere Ergebnisse erreichbar

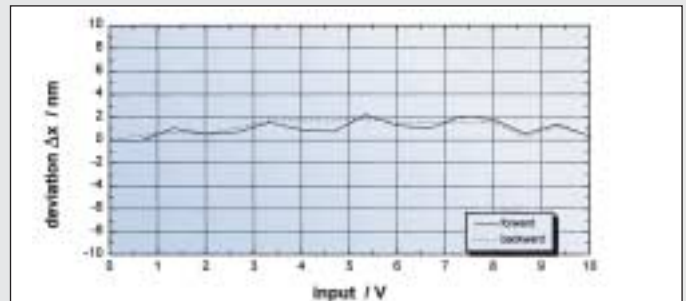


Abb. 4: Linearität eines P-752.11C Piezo-Nanopositioniersystems (analoge Steuerelektronik: E-500 Chassis mit E-503.00 und E-509.C1A Modulen). Der Stellweg beträgt 15 μm bei 10 V am Steuereingang. Die Linearität ist besser als 0,02%; noch bessere Werte sind z. B. mit E-710 Digitalcontrollern erzielbar

analogem Controller – noch höhere Genauigkeit ist z. B. mit den E-710 Digitalcontrollern erzielbar – umfasst die Nicht-linearitäten aller Komponenten, von der Mechanik, über den Piezoantrieb, bis zum Sensor und der Elektronik. Die Stabilität der Messergebnisse wird durch thermische

und elektronische Drift bestimmt. Für eine möglichst genaue und wiederholbare Messung sollte daher die Umgebungstemperatur konstant gehalten werden. Die Messelektronik von PI zeichnet sich durch eine hervorragende Langzeitstabilität aus, wie in Abb. 5 dargestellt.

Messprinzip

Proportionalität Signal/Distanz

Zwischen den Platten eines idealen Plattenkondensators wird beim Anlegen einer Spannung ein homogenes elektrisches Feld erzeugt. Die elektrische Kapazität der Anordnung wird – bis auf konstante Faktoren – nur von der Plattenfläche und ihrem Abstand bestimmt. Eine Abstandsänderung bewirkt also direkt eine Änderung der Kapazität. Über eine Brückenschaltung wird die Kapazität mit einem Referenzkondensator abgeglichen. Die Auswerteelektronik für kapazitive Positionssensoren ist so konzipiert, dass das Ausgangssignal proportional zur Abstandsänderung ist. Die beiden Sensorflächen oder die Sensoroberfläche („Probe“) und die Oberfläche des Messobjektes („Target“) bilden dabei die beiden Kondensatorplatten.

Die Oberfläche des Messobjektes/Targets darf eine gewisse Größe nicht unterschreiten, da sonst Randeffekte die Messung verfälschen können. Dies ist

zum Beispiel bei Anwendungen wichtig, die eine Messung gegenüber einem Messobjekt auf Walzen o. ä. vorsehen. Die Dicke des Messobjektes hat bei metallischen Werkstoffen keinen Einfluss.

Schutzringgeometrie

Voraussetzung einer Proportionalität ist die Homogenität des elektrischen Feldes zwischen den Elektroden. Um Randeffekte auszuschließen ist die eigentliche Sensorfläche bei allen kapazitiven Sensoren von PI von einem aktiven Schutzring umgeben, der dasselbe elektrische Potenzial wie die Sensorfläche hat (Abb. 7). Dieser Aufbau sorgt für eine optimale Abschirmung vor störenden Feldern und ausgezeichnete Abgrenzung des Messbereichs. Bei paralleler Ausrichtung der Sensoroberfläche zur Targetoberfläche wird so die größtmögliche Linearität der Ausgangssignale über den gesamten Messbereich mit der spezifizierten Genauigkeit erreicht.

Kalibrierung für höchste Genauigkeit

Die werksinterne Kalibrierung in den PI Nanometrologie-Messlabors wird nach dem neuesten Stand der Technik vorgenommen. Als Referenz dienen ultragenau Sensoren wie z. B. Laserinterferometer. PI verwendet zum Beispiel für die Kalibrierung der PISeca™

Systeme die NEXLINE® basierten hochgenauen Positionierer mit einer Bewegungsauflösung unter 0,01 nm in einem Aufbau mit reibungsfreien Flexureführungen und als Referenz einen inkrementellen Sensor mit einer Auflösung unter 0,1 nm (Abb. 8 und 9).

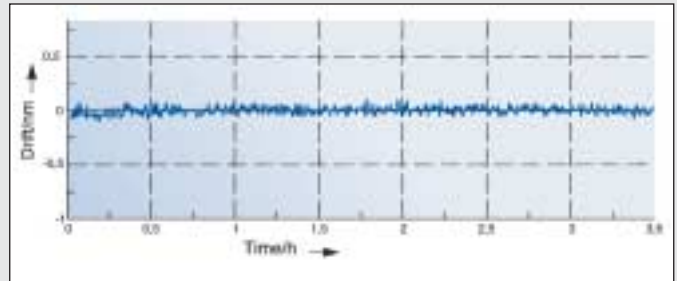


Abb. 5: Messtabilität eines analogen E-509.C1A Sensor- / Servocontrollermoduls für kapazitive Positionssensoren mit 10 pF Referenzkondensator über dreieinhalb Stunden (nach Warmlaufen der Elektronik)

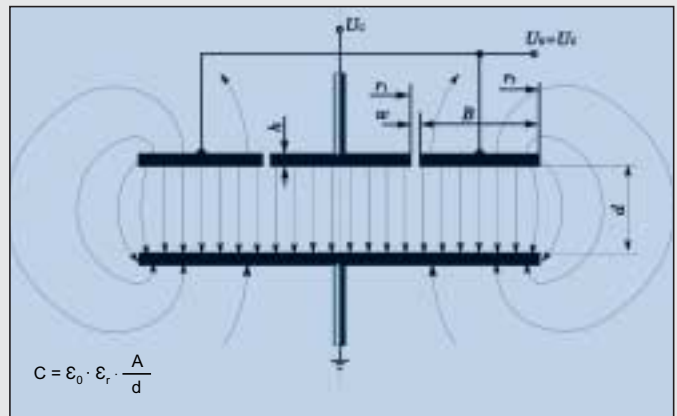


Abb. 6: Arbeitsprinzip eines kapazitiven Sensors. Die Kapazität C ist proportional zur aktiven Sensorfläche A, d bezeichnet den Abstand von Sensor zu Targetfläche, ϵ_0 ist eine Konstante, ϵ_r die dielektrische Konstante des Materials zwischen den Kondensatorplatten, im Allgemeinen Luft



Abb. 7: Kapazitive Sensoren mit Schutzringelektrode bieten größtmögliche Linearität

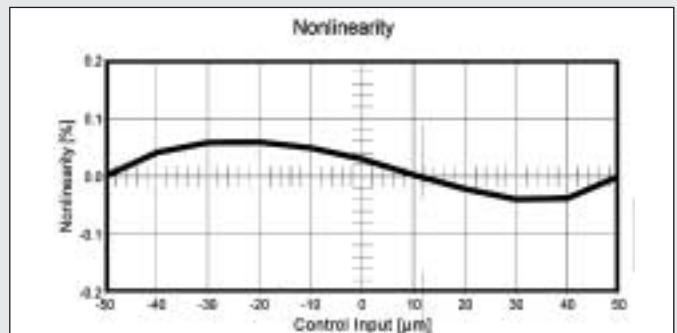


Abb. 8: Der Linearitätsfehler eines typischen PISeca™ Einelektroden-Messsystems liegt unter 0,1% über den gesamten Messbereich

Direktmetrologie, Parallelmetrologie

Direktmetrologie/Parallelmetrologie mit kapazitiven Zweiplattensensoren

Für Nanometrologie-Anwendungen in Positionierung, Scanning und Messung, die die größtmögliche Genauigkeit erfordern, sind kapazitive Messsysteme die geeignete Wahl. Zweiplattensensoren erreichen die höchste Linearität und Langzeitstabilität. Diese absolutmessenden, kontaktlosen Messgeräte können an der bewegten Oberfläche angebracht werden und messen so unmittelbar gegen eine Referenzfläche

(Direktmetrologie), ohne die eigentliche Messung zu beeinflussen. Sie sind insbesondere in der Nanostelltechnik für Systeme mit Parallelkinematik hervorragend geeignet. Dies bedeutet, dass bei Mehrachsensystemen alle Freiheitsgrade bezüglich einer einzigen Basis gemessen werden und Übersprechen senkrecht zur Bewegungsrichtung in Echtzeit ausgeregelt werden kann (Aktive Führung). Dadurch können Ablaufgenauigkeiten im Subnanometer- und Submikroradian-Bereich erreicht werden.

Spezieller Aufbau schließt Kabeleinflüsse aus

Messsysteme, die auf der Messung der elektrischen Kapazität basieren, können durch Schwankungen in der Kabelkapazität beeinflusst werden. Die meisten kapazitiven Sensoren funktionieren deshalb nur bei geringen, fest definierten Kabellängen. In den PI-Systemen werden Kabeleinflüsse durch einen speziellen

Aufbau eliminiert, weshalb Kabellängen bis 3 m problemlos verwendet werden können. Für optimale Ergebnisse empfehlen wir die Kalibrierung des Sensor- / Aktorsystems bei PI. Noch größere Entfernungen zwischen Sensor und Messelektronik werden mit speziellen digitalen Übertragungssystemen verlustfrei überbrückt.

Elektroden-Geometrie und Oberflächenqualität

Die Oberflächen der kapazitiven Sensoren müssen den höchsten Präzisionsanforderungen genügen. Die PI-Sensoren werden

deshalb mit speziellen, höchst genauen Bearbeitungsmethoden aus der Präzisionsoptikfertigung hergestellt.

Parallelität der Messflächen

Um optimale Ergebnisse zu erzielen, müssen Target und Probe während der Messung parallel zueinander ausgerichtet sein. Insbesondere bei geringem Messabstand und kleiner Sensorfläche wirken sich Abweichungen sehr stark auf das Messergebnis aus. Eine eventuelle Verkipfung beeinflusst

nicht die Auflösung und Wiederholbarkeit, nur die Linearität und Proportionalverstärkung, (s. Abb. 12). Positioniersysteme mit Multi-link-Flexureführungen für minimale Verkipfung in beiden Stellrichtungen (Abb. 13) erreichen deshalb die höchsten Genauigkeiten.

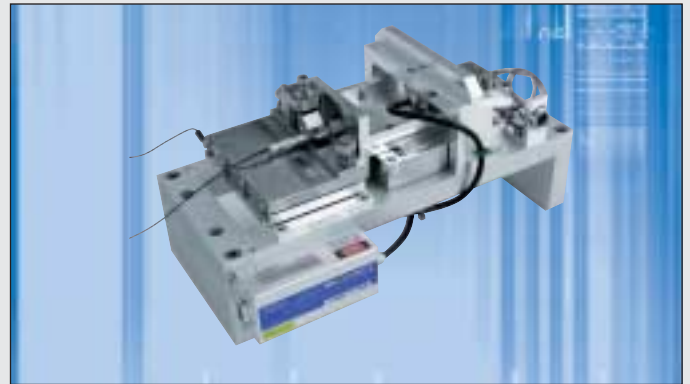


Abb. 9: Bei der PI-internen Kalibrierung von kapazitiven Einplatten-Systemen wird ein hochgenauer NEXLINE® Nanopositionierer mit inkrementellem Sensor eingesetzt. Die Auflösung ist deutlich besser als die eines Laserinterferometers

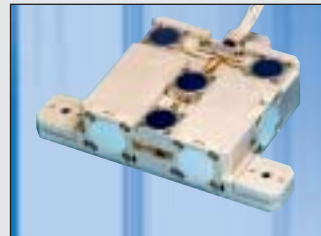


Abb. 10: Kapazitive Positionssensoren in einem ultrapräzisen 6D-Nanopositioniersystem für Rastermikroskopie, entwickelt für die PTB



Abb. 11: Die Verwendung der digitalen Signal Transmission ermöglicht einen Abstand von bis zu 15 m zwischen Positioniereinheit und Controller durch eine separierte Sensorauswertung, hier: E-710

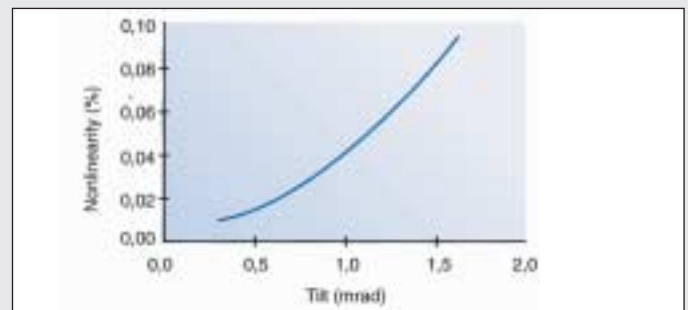


Abb. 12 : Nichtlinearität als Funktion der Verkipfung des Sensors

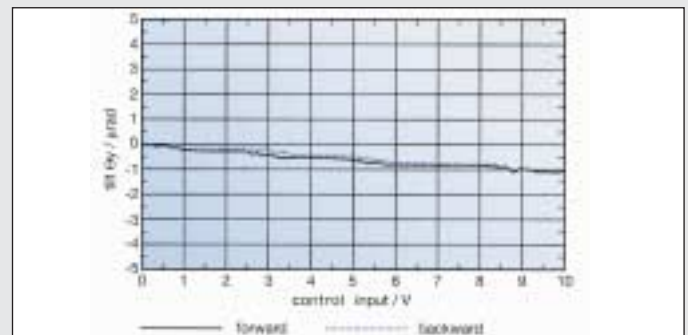


Abb. 13: Flexuregeführte Nanopositioniersysteme wie z. B. das P-752 ermöglichen Sub-Mikrorad-Führungsgenauigkeiten und optimale Voraussetzungen für kapazitive Sensoren

Glossar

Messbereich

Der Messbereich ist abhängig sowohl von der Größe der aktiven Sensorfläche als auch der Elektronik.

Bedingt durch die Konzeption der Signalauswerteelektronik für kapazitive Sensoren von PI entspricht grundsätzlich die Größe des mittleren Abstands des Systems dem Messbereich. Der Messabstand zwischen

Sensoroberfläche und Target beträgt zwischen 50 und 150 µm des Messbereiches (s. Abb. 14). Die Plattenkapazität hat denselben Wert wie der Referenzkondensator in der Elektronik. Der nominale (Standard-)Messbereich kann durch die Auswahl verschiedener Referenzkondensatoren in der Elektronik entweder vergrößert oder reduziert werden (s. Abb. 15).

Target

Bei kapazitiven Zweiplatten-Sensoren wird eine Elektrode als Sonde (Probe), die andere als Target bezeichnet.

Bei Eielektroden-Sensoren wird die Oberfläche, gegen die gemessen wird, als Target bezeichnet. Die Targetoberfläche muss grundsätzlich aus einem leitenden Material sein, das elektrisch geerdet ist. Messungen gegen Halbleiter sind ebenfalls möglich.

Während bei kapazitiven Zweiplatten-Sensoren beide Flächen definiert und in hoher Qualität vorhanden sind, hat die Target-

beschaffenheit bei Einplatten-Sensoren durchaus Einfluss auf die Messung.

Eine gewölbte oder raue Oberfläche verschlechtert die Auflösung der Messung, da hierbei der Abstand gemittelt wird (Abb. 16 u. 17). Die Form der Oberfläche verändert auch die Homogenität des elektrischen Feldes und damit die Linearität des Messergebnisses.

Bei der Kalibrierung bei PI wird gegen eine ebene leitende Oberfläche gemessen, die deutlich größer als die Sensoroberfläche ist.

Umgebungsbedingungen

Präzisionsmessungen im Nanometerbereich setzen voraus, dass Umgebungseinflüsse auf ein Minimum reduziert sind. Konstanz von Temperatur und Luftfeuchtigkeit während der Messung ist dazu ebenso notwendig wie eine saubere Umgebung.

Die Elektronik von PI ist prinzipiell sehr temperaturstabil. Der Fehler beträgt unter 0,2% des Messbereichs bei einer Temperaturänderung von 10 °K. Mit der Temperatur ändert sich außerdem die Ausdehnung aller Materialien im Messaufbau,

wodurch sich die tatsächlichen Messabstände ändern.

Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit liegt bei einer Änderung der relativen Luftfeuchte um 30%-Punkte unter 0,5% des Messbereichs. Insbesondere kondensierende Luftfeuchtigkeit ist unbedingt zu vermeiden.

Staub oder beschädigte Sensoroberflächen beeinflussen die Qualität der Messung ebenfalls stark.

Die Umgebungsbedingungen bei der Kalibrierung sind im Calibration Sheet jedes einzelnen PI Systems vermerkt.

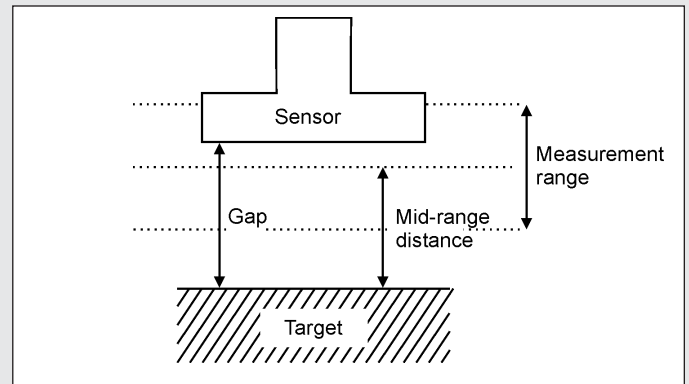


Abb. 14: Definitionen: Messbereich und mittlerer Abstand sind identisch im Zahlenwert

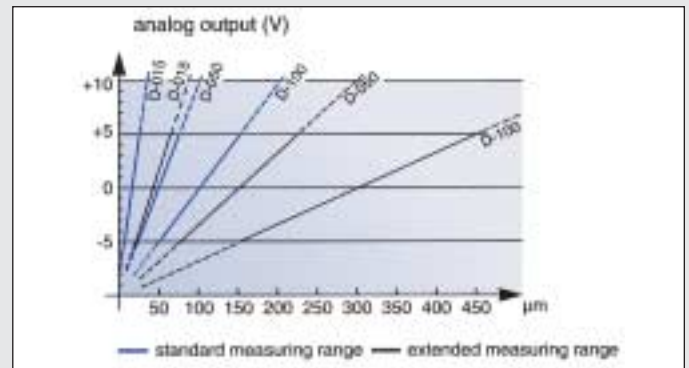


Abb. 15: Standard-Messbereiche (blau) und erweiterte Messbereiche (schwarz) verschiedener kapazitiver Positionssensoren

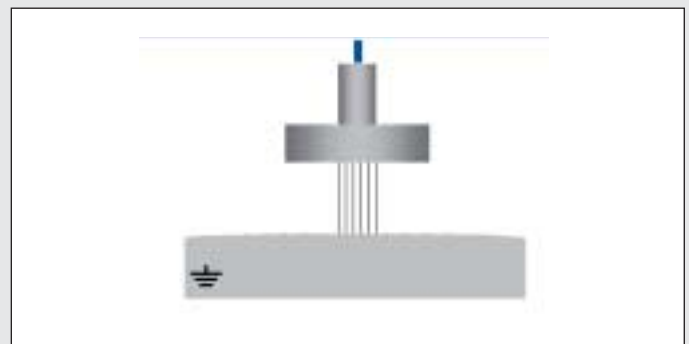


Abb. 16: Die Rauigkeit der Targetoberfläche kann die Messung beeinflussen

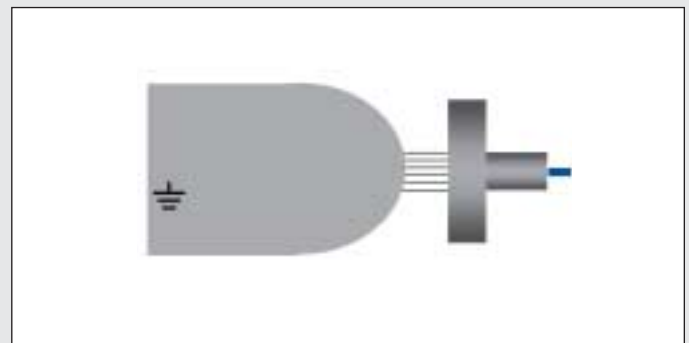


Abb. 17: Bei gewölbten Oberflächen wird der Abstand gemittelt

Nanometrologie, Nanopositionierung, NanoAutomation®

Höchstgenaue Mess- und Positionierlösungen für Industrie und Forschung



PI Zentrale in Karlsruhe. PI beschäftigt weltweit die erfahrensten Teams für Forschung, Entwicklung und Fertigung von Nanopositioniersystemen

Technologie für höchste Präzision – Jahre der Zeit voraus

PI nimmt seit vielen Jahrzehnten eine Spitzenstellung auf dem Weltmarkt für Nanopositioniertechnik ein.

Höchste Präzisionsanforderungen erforderten vor 15 Jahren die Entwicklung eigener kapazitiver Positionsmesssysteme.

Zehntausende geregelter Standard- und kundenspezifischer Piezopositioniersysteme wurden seither von PI mit hauseigener Sensor- und Controller-technik ausgeliefert.

Diese fortschrittliche Technologie bietet PI jetzt auch separat als preisgünstige, einfach handhabbare Messsysteme an, die in diesem Übersichtskatalog vorgestellt werden.

Schlüsseltechnologien unter einem Dach – das Plus für Kunden

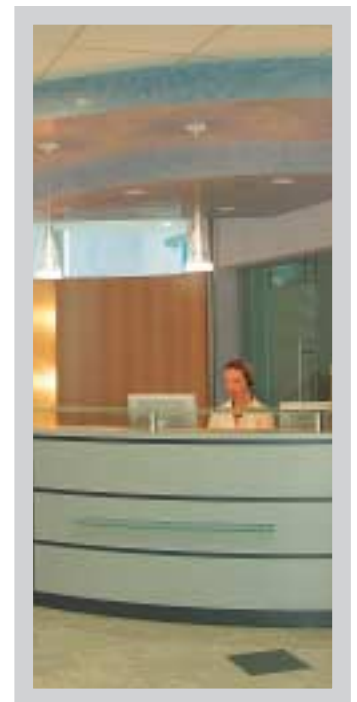
PI verfolgt die Strategie der vertikalen Integration, alle Schlüsseltechnologien werden im Hause entwickelt und gepflegt.

Dadurch wird jeder Schritt vom Design bis hin zur Auslieferung kontrolliert, zur Optimierung von Qualität und Kosten. Profitieren auch Sie als Kunde von unserer über 30-jährigen Erfahrung in Mess- und Regeltechnik im Nanometerbereich. Für OEM Kunden ist PI in der Lage, schnell auf die Entwicklungs- und Produktionsanforderungen auch hochkomplexer spezifischer Produkte und Baugruppen zu reagieren.

Anwendungen für Nanomesstechnik und Nanopositioniersysteme

PI entwickelt und fertigt Präzisionssysteme für alle wichtigen High-Tech-Märkte:

- Halbleitertechnologie
- Datenspeichertechnik
- Photonik, Faseroptik, Telekommunikation
- Life Science
- Laser, Optik, Mikroskopie
- Luft- und Raumfahrttechnik
- Präzisionsfertigungstechnik
- Astronomie



Werk PI Ceramic in Lederhose



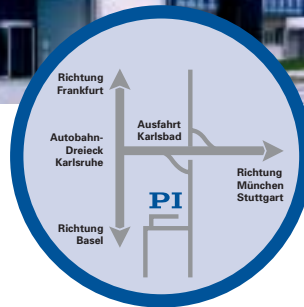
Alle Wege führen zu PI

PI Karlsruhe



Im Einzugsbereich der Flughäfen Frankfurt, Stuttgart und Straßburg, liegt PI verkehrsgünstig, nahe dem Autobahndreieck Karlsruhe, direkt an der A8, Ausfahrt Karlsruhe.

www.pi.ws



PI Ceramic Lederhose



Einfach und schnell erreichbar liegt PI Ceramic direkt am Verkehrsknotenpunkt „Hermisdorfer Kreuz“ der A9 und der A4. Nur wenige Minuten von den Anschlussstellen Nr. 25 und Nr. 26 entfernt.

www.piceramic.de



Stammsitz

DEUTSCHLAND

Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

Auf der Römerstr. 1
D-76228 Karlsruhe/Palmbach
Tel: +49 (721) 4846-0
Fax: +49 (721) 4846-100
info@pi.ws · <http://www.pi.ws>

PI Ceramic GmbH

Lindenstr.
D-07589 Lederhose
Tel: +49 (36604) 882-0
Fax: +49 (36604) 882-25
info@piceramic.de
<http://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
<http://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
<http://www.pi-usa.us>

JAPAN

PI Japan Co., Ltd.

Akebono-cho 2-38-5
Tachikawa-shi
J-Tokio 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
J-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

GROSSBRITANNIEN

Lambda Photometrics Ltd.

Lambda House
Batford Mill
GB-Harpden, Hertfordshire
AL5 5BZ
Tel: +44 (1582) 764 334
Fax: +44 (1582) 712 084
pi@lambdaphoto.co.uk
www.lambdaphoto.co.uk

FRANKREICH

Polytec PI/RMP S.A.

32 rue Delizy
F-93694 Pantin Cedex
Tel: +33 (1) 481 039 30
Fax: +33 (1) 481 008 03
pi.pic@polytec-pi.fr
www.polytec-pi.fr

ITALIEN

Physik Instrumente (PI) S.r.l.

Via G. Marconi, 28
I-20091 Bresso (MI)
Tel: +39 (02) 665 011 01
Fax: +39 (02) 665 014 56
info@pionline.it
www.pionline.it