

KISTLER

measure. analyze. innovate.

PiezoStar® Kristalle

**Eine neue Dimension
in der Sensortechnik**

Dr. Claudio Cavalloni,
Dr. Roland Sommer,
Kistler Instrumente AG,
Winterthur

Sonderdruck
920-240d-07.03



PiezoStar®-Kristalle

Eine neue Dimension in der Sensortechnik

Seit über 40 Jahren entwickelt und produziert Kistler piezoelektrische Sensoren für die Messung von Druck, Kraft und Beschleunigung, auch für den Einsatz unter extremen Bedingungen. Neben Quarz werden heute vermehrt neue Kristalle für die Sensorelemente eingesetzt.

Steigende Anforderungen an die Empfindlichkeit, als Resultat der zunehmenden Miniaturisierung, sowie höhere Einsatztemperaturen erforderten neue Kristallverbindungen. In über 10 jähriger Forschungsarbeit, in Kooperation mit Hochschulen und Instituten auf der ganzen Welt, wurden neue Kristallverbindungen untersucht und die Züchtungsprozesse entwickelt, mit dem Ergebnis, dass nun eine ganze Familie von Kristallen mit herausragenden Eigenschaften für piezoelektrische Sensoren zur Verfügung steht. Seit 1998 werden diese Kristalle bis zu 65 mm

Durchmesser und 2,5 kg Gewicht bei Kistler gezüchtet und zu Sensorelementen verarbeitet. Damit entstand eine neue Gruppe von Druck-, Kraft- und Beschleunigungs-Sensoren mit überlegenen Eigenschaften.

Kistler optimierte die PiezoStar-Kristallelemente für den Einsatz in Sensoren für hohe Anforderungen und baut damit den technologischen Vorsprung in der Sensortechnik aus. Zur Zeit werden aus der PiezoStar-Gruppe die Kristalle KI85 und KI91 in Sensoren eingesetzt.

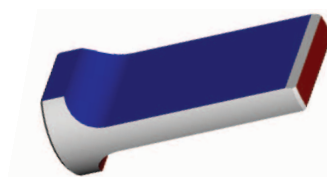
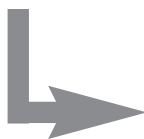
Meilensteine PiezoStar-Kristalle

- 1995 Erster Miniatur Drucksensor (20 pC/bar) mit einem KI85 Kristall
- 1995 Erster Hochtemperatur-Kraftsensor mit KI85 Kristall
- 1998 Erster KI85 Kristall bei Kistler gezüchtet
- 1999 Erster Miniatur Drucksensor (temperaturkompensiert) mit einem KI91 Kristall
- 2002 Erster KI91 Kristall bei Kistler gezüchtet

PiezoStar



Einkristall



Messelement

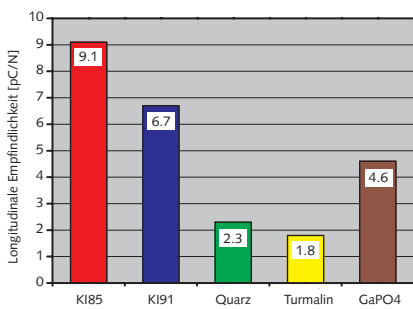


Hochtemperatur-Drucksensor

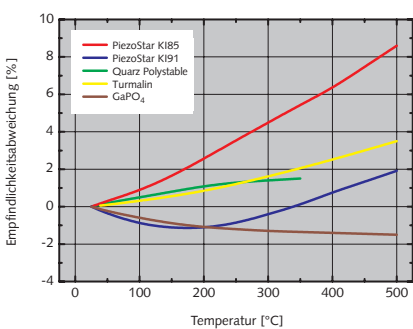
Einige der herausragenden Eigenschaften der PiezoStar-Kristalle von Kistler sind:

- Hohe piezoelektrische Empfindlichkeit (bis 5x höher als Quarz)
- Geringe Temperaturabhängigkeit
- Hohe Stabilität der Eigenschaften
- Einsatztemperatur bis über 600 °C
- Keine Phasenumwandlung bis zum Schmelzpunkt (oberhalb 1300 °C)
- Keine Zwillingsbildung
- Reproduzierbarer Züchtungsprozess im industriellen Massstab
- Erprobt und bewährt eingesetzt in hochwertigen piezoelektrischen Sensoren

Piezoelektrische Eigenschaften



Piezoelektrische Empfindlichkeit verschiedener Hochtemperatur-Kristalle. KI85 und KI91 sind Kristalle aus der PiezoStar-Gruppe.



Empfindlichkeitsabweichung in Funktion der Temperatur verschiedener Kristalle

Produkte

Beispiele von bewährten Sensoren mit PiezoStar-Kristallelementen sind:



Miniatur M5-Hochtemperatur-Drucksensoren Typ 6052B und Drucksonden Typ 6055/6057 für den Einsatz in Verbrennungsmotoren



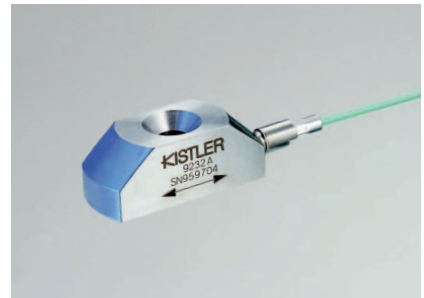
Messzündkerze M14 Typ 6117B und M12 Typ 6115A für den Einsatz in Verbrennungsmotoren



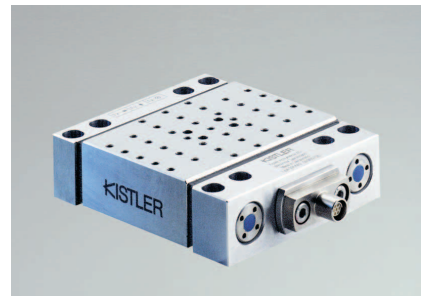
3-Komponenten-Kraftsensoren mit hoher Empfindlichkeit (11 pC/N) Typ 9017A/9018A im ForceLink Typ 9317A/9318A



Miniatur 5 mm HighSens-Kraftsensor Typ 9215 mit hoher Empfindlichkeit (100 pC/N)



HighSens-Dehnungssensor Typ 9232A und Dehnungstransmitter Typ 9234A



Miniatur 3-Komponenten-Dynamometer MiniDyn Typ 9256A für Mikrobearbeitung

Kristalleigenschaften

Die PiezoStar-Kristalle gehören zur Familie der Kalzium-Gallogermanate, Quarz-ähnliche Verbindungen wie zum Beispiel Langasit ($\text{La}_3\text{Ga}_5\text{SiO}_{14}$). Der erste Kristall dieser Familie, $\text{Ca}_3\text{Ga}_2\text{Ge}_4\text{O}_{14}$, wurde bereits 1979 an der Universität Moskau entdeckt. Mittlerweile sind über 100 verschiedene Verbindungen aus dieser Familie gezüchtet und ein Teil davon auch piezoelektrisch charakterisiert worden. Diese Kristalle gehören zu gleichen kristallographischen Symmetrieklasse 32 wie Quarz. Daher sind auch ähnliche Kristallschnitte (Longitudinal-, Transversal- und Schubschnitt) möglich. Im Gegensatz zu Quarz oder Galliumorthophosphat besitzen die Kristalle aus der Langasit-Familie keinen Phasenumwandlungspunkt unterhalb des Schmelzpunktes. Dies erklärt die ausgezeichnete Stabilität dieser Kristalle bis zu extremen Temperaturen.

Literatur: B.V. Mill and Yu.V. Pisarevsky, Proc. IEEE International Frequency Control Symposium, 2000, p.133-144.

Die Anwendungen dieser Kristalle finden sich neben der Sensortechnik vor allem bei Resonatoren und Oberflächenwellen-Bauelementen für Oszillatoren, Frequenzfilter und Verzögerungsleitungen für Mobilkommunikation und Fernsehgeräte.



KI85 Kristall, Ø 55 mm, 1,8 kg

Vorteile von PiezoStar-Kristallen

Einfach und wirtschaftlich züchtbar, gute Ausbeute, gute Stabilität, hohe Empfindlichkeit, keine Zwillingsbildung, keine Phasenumwandlung unterhalb des Schmelzpunktes, einsetzbar bei höchsten Temperaturen, kein Pyroeffekt

Nachteile

Belastbarkeit geringer als Quarz, höhere Kosten als Quarz.

Nachteile Turmalin

Nur natürliche Kristalle erhältlich (unterschiedliche Qualität, Beschaffung nicht gesichert), geringe Empfindlichkeit.

Nachteile GaPO4

Sehr aufwendig zu züchten, nur kleine Kristalle erhältlich, kleine Ausbeute, Zwillingsbildung, Phasenumwandlung bei 970 °C.

Nachteile Quarz

Kleine Empfindlichkeit, Zwillingsbildung, Phasenumwandlung bei 573 °C.

Vergleich verschiedener piezoelektrischer Materialien

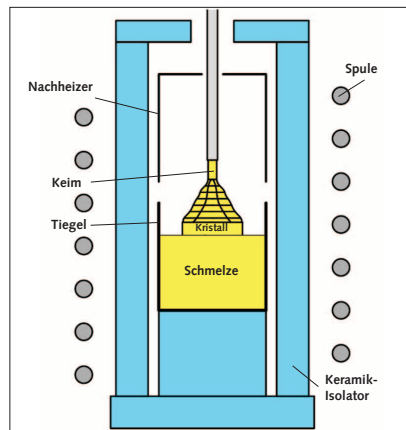
	Besonderheit	Pyroeffekt	T _{max} *	Herstellung		
				Prozess	Menge	Kosten
Quarz	mechanisch hoch belastbar	nein	573 °C	hydrothermal	gross	tief
KI85	hoch empfindlich	nein	T _m	Czochralsky	mittel	hoch
KI91	geringer Temperaturkoeffizient	nein	T _m	Czochralsky	mittel	hoch
GaPO4	geringer Temperaturkoeffizient	nein	970 °C	hydrothermal	klein	hoch
Turmalin	hohe Temperaturbeständigkeit	ja	>900 °C	natürlich	klein	hoch
Piezokeramik (PZT)	hoch empfindlich	ja	250 °C	Sintern	gross	tief

* Phasenumwandlungstemperatur. T_m = keine Umwandlung unterhalb des Schmelzpunkts

Das Czochralsky-Züchtungsverfahren (oder Züchtung aus der Schmelze)

Kistler verwendet dieses seit 1917 bekannte Züchtungsverfahren, mit dem in relativ kurzer Zeit grosse Kristalle guter Qualität gezüchtet werden können (zum Beispiel wird unser KI85-Kristall, \varnothing 55 mm, 1,8 kg, innerhalb einer Woche gezüchtet). Die einzelnen Komponenten (meistens Oxidpulver) werden in einem Tiegel gemischt und bis zum Schmelzpunkt aufgeheizt (Induktivheizung). Die Temperatur beträgt etwa 1400 bis 1500 °C, was den Einsatz von Tiegeln aus Edelmetall (Platin oder Iridium) erfordert. Von oben wird ein Keim (Stück Kristall gleicher Verbindung) in die Schmelze eingetaucht. Hier ist es sehr wichtig, die Temperatur der Schmelze sehr genau zu kontrollieren. Ist die Schmelze zu warm, schmilzt der Keim ab. Ist sie zu kalt, besteht die Gefahr, dass die Schmelze auf Grund des Eintauchens des Keims rasch erstarrt. Sobald das Kristallwachstum begonnen hat, wird der Keim langsam hochgezogen (etwa 1 mm/h). Die Grösse (Durchmesser) des Kristalls wird über die Heizleistung und die Ziehgeschwindigkeit automatisch gesteuert.

Auf dem Papier sieht es relativ einfach aus, aber in der Realität spielen sich komplexe chaotische Phänomene in 3 Dimensionen ab. Insbesondere muss die Temperatur sehr genau kontrolliert werden. Wächst der Kristall zu schnell, besteht die Gefahr, dass sich Risse oder Störungen in der Kristallstruktur bilden. Deswegen ist neben einer sehr genauen Regelung der Heizleistung die Erfahrung des Operators äusserst wichtig, um einen störungsfreien Kristall zu züchten.



Schematischer Aufbau des Czochralsky-Verfahrens



KI91 Kristall \varnothing 65 mm, 2,5 kg



Kristallzüchtungsanlage nach Czochralski-Verfahren (Bild Kistler)

Kistler weltweit

Europa

Deutschland

Kistler Instrumente GmbH
Postfach 1262
DE-73748 Ostfildern
Tel. (+49) 7 11 34 07 0
Fax (+49) 7 11 34 07 159
info.de@kistler.com

Grossbritannien

Kistler Instruments Ltd.
Alresford House, Mill Lane
Alton, Hampshire GU34 2QJ, UK
Tel. (+44) 1420 54 44 77
Fax (+44) 1420 54 44 74
sales.uk@kistler.com

Österreich

Kistler GmbH
Lemböckgasse 49f
AT-1230 Wien
Tel. (+43) 1 867 48 67 0
Fax (+43) 1 867 48 67 17
sales.at@kistler.com

Dänemark/Finnland/ Norwegen/Schweden

Kistler Nordic AB
Aminogatan 34
SE-431 53 Mölndal
Tel. (+46) 31 871 566
Fax (+46) 31 871 597
info.se@kistler.com

Italien

Kistler Italia s.r.l.
Via Paolo Uccello, 4
IT-20148 Milano
Tel. (+39) 02 481 27 51
Fax (+39) 02 481 28 21
sales.it@kistler.com

Schweiz/Liechtenstein

Kistler Instrumente AG
Verkauf Schweiz
Postfach, Eulachstr. 22
CH-8408 Winterthur
Tel. (+41) 52 224 12 32
Fax (+41) 52 224 14 21
sales.ch@kistler.com

Frankreich

Kistler SA
ZA de Courtabœuf 1
15, avenue du Hoggar
FR-91953 Les Ulis cédex
Tel. (+33) 1 69 18 81 81
Fax (+33) 1 69 18 81 89
info.fr@kistler.com

Niederlande

Kistler B.V. Nederland
Newtonlaan 115
NL-3584 BH, Utrecht
Tel. (+31) 30 210 63 67
Fax (+31) 30 210 66 66
sales.nl@kistler.com

Asien

Japan

Kistler Japan Co., Ltd.
MT Building
7-5, Shibadaimon 2-chome
Minato-ku, Tokyo 105
Tel. (+81) 3 35 78 02 71
Fax (+81) 3 35 78 02 78
sales.jp@kistler.com

Republik Korea

Kistler Korea Co., Ltd.
3rd Floor, Bow Building
1580-1, Seocho-3 dong,
Seocho-ku,
Seoul, Korea 137-875
Tel. (+82) 2 597 6013
Fax (+82) 2 525 6015
sales.kr@kistler.com

Volksrepublik China

Kistler China Ltd.
Unit D, 24 / F Seabright Plaza
9-23 Shell Street
North Point, Hong Kong
Tel. (+852) 25 91 59 30
Fax (+852) 25 91 18 85
sales.cn@kistler.com

Representative Office Beijing

Tel. (+86) 10 8225 2163
Fax (+86) 10 8225 2124
sales.cn@kistler.com

Singapur

Kistler Instruments (Pte) Ltd.
50 Bukit Batok Street 23
#04-06 Midview Building
Singapore 659578
Tel. (+65) 631 67331
Fax (+65) 631 67332
sales.sg@kistler.com

Amerika

USA / Kanada

Kistler Instrument Corp.
75 John Glenn Drive
Amherst, NY 14228-2171
Tel. (+1) 716 691 5100
Fax (+1) 716 691 5226
sales.us@kistler.com

Andere Länder

Kistler Instrumente AG
Export Sales
Postfach, Eulachstr. 22
CH-8408 Winterthur
Tel. (+41) 52 224 11 11
Fax (+41) 52 224 15 49
sales.export@kistler.com

Hauptsitz

Schweiz

Kistler Instrumente AG
Postfach, CH-8408 Winterthur
Tel. (+41) 52 224 11 11
Fax (+41) 52 224 14 14
info@kistler.com

www.kistler.com

KISTLER
measure. analyze. innovate.