

Der Piezoeffekt und seine Anwendungen

Hottinger Baldwin Messtechnik, Darmstadt

Veröffentlicht unter <http://www.hbm.de/custserv/SEURLF/ASP/SFS/ID.813/MM.4,101,180/SFE/techarticles.htm>

ID-Nummer: 813_de

Der Effekt der **Piezoelektrizität** beschreibt das Zusammenspiel von mechanischem Druck (griech: piézin – pressen, drücken) und elektrischer Spannung in Festkörpern. Er basiert auf dem Phänomen, dass bei der Verformung bestimmter Materialien auf der Oberfläche elektrische Ladungen auftreten.

Viele Lebewesen verwenden Piezoelektrizität auf eine sehr interessante Weise: Knochen agieren als Kraftsensor. Unter Krafteinwirkung produzieren Knochen elektrische Ladungen proportional zu den inneren Belastungen. Diese Ladungen stimulieren und bewirken den Aufbau neuen Knochenmaterials, was zu einer Stärkung der Knochenstruktur an den Stellen führt, an denen die inneren Verschiebungen am größten sind. Dies führt zu belastungsspezifischen Minimalstrukturen und damit einem exzellenten Verhältnis von Gewicht zu Festigkeit.

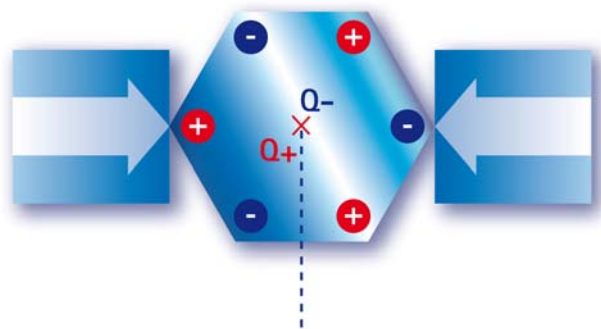


Abb. 1: Piezoeffekt – elektrische Spannung entsteht durch Krafteinwirkung auf bestimmte Materialien

Entdeckung

Die elektrischen Eigenschaften des Turmalins (der Edelstein zieht Ascheteilchen an, wenn er in der Glut erhitzt wird) waren schon seit längerem bekannt. Coulomb und Becquerel vermuteten aufgrund dieser temperaturbedingten Elektrizität auch eine vom Druck abhängige. Sie beschäftigten sich mit dieser Theorie, doch einen Beweis konnten sie noch nicht erbringen. Nach vielen Irrwegen, bei denen hauptsächlich die Reibungselektrizität beschrieben wurde, entdeckten schließlich die Brüder Pierre und Jacques Curie 1880 den Piezoeffekt am Turmalin.

Im Experiment konnten sie nachweisen, dass eine Oberflächenspannung entstand, sobald der Kristall mechanischem Druck ausgesetzt wurde. Wenig später fanden sie diese Eigenschaft auch an anderen Kristallen, wie etwa Quarz und Topas.

Die beiden nannten ihre Entdeckung Polarelektrizität, diese Bezeichnung wich jedoch schon bald dem Namen Piezoelektrizität. 1881 sagte Gabriel Lippmann den umgekehrten Piezoeffekt, sprich die Verformung des Kristalls aufgrund eines angelegten elektrischen Feldes, voraus. Die Curie Brüder stimmten Lippmann zu. Schließlich gelang es ihnen auch diese im Experiment zu beweisen. Rückschauend ist die Leistung der Curie Brüder doch sehr beachtlich, wenn man bedenkt, welche Mittel ihnen zur Verfügung standen. Mit Stanniolpapier, Leim, Draht und Magneten aber vor allem auch einem scharfen Blick gelang ihnen der Nachweis des Piezoeffekts.

Materialien

Für piezoelektrische Sensoren werden zwei wesentliche Materialgruppen eingesetzt: piezoelektrische Keramiken und einkristalline Materialien. Keramiken (z.B.: BZT) werden in Sinterprozessen hergestellt, sie besitzen eine piezoelektrische Konstante, die zwei Größenordnungen über der der Kristallmaterialien liegen kann. Leider ist die große Sensitivität mit einer schlechteren Langzeitstabilität verbunden. Piezoelektrische Keramiken kann man sich wie einen magnetisierten Eisenstab (oder auch einer Musikkassette) vorstellen. Die Magnetisierung ist nachträglich „eingepägt“ und lässt sich auch ändern.

Im Gegensatz dazu stehen einkristalline Materialien (z.B.: Turmalin, Quarz, Galliumphosphat: GaPO₄). Hier ist der spezifische Aufbau des Kristallgitters für den Effekt verantwortlich. Die Kristalle sind im Allgemeinen weniger sensitiv, haben jedoch wesentlich höhere, nahezu unendliche Langzeitstabilitäten.



Abb. 2: Galliumphosphat (GaPO₄) zeichnet sich durch sehr hohe Langzeitstabilität aus

Einige der verwendeten Materialien - insbesondere Galliumphosphat und Turmalin - besitzen eine ausgezeichnete Stabilität über weite Temperaturbereiche, was einen Anwendungsbereich piezoelektrischer Kristalle bis fast 1000 °C ermöglicht.

Alle Piezokeramiken und Turmalin sind nicht nur piezoelektrisch sondern auch pyroelektrisch. Dass heißt es wird nicht nur bei Druckänderung, sondern auch bei Temperaturänderung ein Ladungssignal abgegeben. Eine Eigenschaft, die Materialien wie Quarz und Galliumphosphat nicht besitzen, weshalb sie als Messkristalle besonders geeignet sind.

Anwendungen

Erst seit den vierziger Jahren des letzten Jahrhunderts wird dieses Messprinzip eingesetzt und stellt heute eine ausgereifte Technologie mit einer herausragenden inhärenten Zuverlässigkeit dar; so wird der Piezoeffekt erfolgreich in zahlreichen kritischen Anwendungsbereichen, wie beispielsweise der Medizin-, Luftfahrt- oder Nukleartechnologie eingesetzt.

Der Aufstieg der piezoelektrischen Technologie beruht auf einer Reihe inhärenter Vorteile. Die hohen Elastizitätsmodule vieler piezoelektrischer Materialien sind mit den Elastizitätsmodulen vieler Metalle vergleichbar. Obwohl piezoelektrische Sensoren elektromechanische Systeme sind, die auf Druck reagieren, zeigen die Messelemente nahezu keine Verformung (typischerweise werden die Messelemente nur um wenige Mikrometer komprimiert).

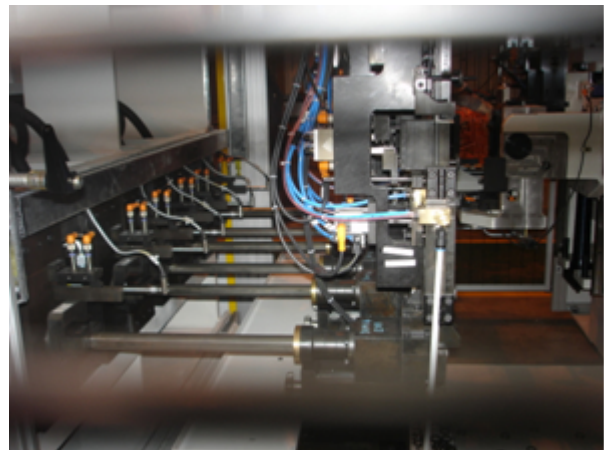


Abb. 3: Piezo-Technologie ideal für die Überwachung industrieller Prozesse

Dies ist ein Grund für die Robustheit der piezoelektrischen Sensoren, die sehr hohe Eigenfrequenz und die exzellente Linearität auch unter schwierigen Einsatzbedingungen. Darüber hinaus ist piezoelektrische Technologie unempfindlich gegen elektromagnetische Felder und Strahlungen.

Ein Nachteil piezoelektrischer Sensoren ist der Einsatz für rein statische Messungen. Eine statische Kraft führt zu einer definierten Ladungsmenge an der Oberfläche des piezoelektrischen Materials. Durch den Einsatz konventioneller Elektronik und nicht perfekt isolierender Materialien geht kontinuierlich Ladung verloren, was letztendlich zu einem kontinuierlichen Signalabfall führt. Erhöhte Temperaturen erzeugen einen zusätzlichen Abfall des inneren Widerstands, daher können für solche Messbedingungen nur Materialien mit einem hohen inneren Widerstand eingesetzt werden.

Es wäre falsch anzunehmen, dass piezoelektrische Sensoren lediglich für sehr schnelle Prozesse oder unter moderaten Bedingungen verwendet werden können. Es existiert eine Vielzahl von Anwendungen, in denen unter quasistatischen Bedingungen gemessen wird, doch ist dies sicherlich eine Domäne der DMS-Technologie.

Ein sehr deutlicher Unterschied zwischen der DMS-Anwendung und der Piezotechnik ist sicherlich die Art, wie die Messelemente verwendet werden. Dehnungsmessstreifen werden auf Strukturen installiert, die sich unter Krafteinwirkung verformen. Der Hauptteil der Kraft geht also durch die Struktur. Die Piezomesstechnik beruht aufgrund der Steifheit der Kristalle darauf, dass der Kraftfluss hauptsächlich durch die Messelemente geht. Durch die hohe Stabilität der Einkristalle lassen sich Piezosensoren deshalb sehr kompakt aufbauen.

Die geringe Verformung der Kristalle ist auch die ideale Voraussetzung für die sehr gute Linearität der Sensoren, da sich der Kraftfluss aufgrund der kurzen Messwege nur unwesentlich verändert. In Kombination mit der Stabilität der Messelemente entstehen dadurch Aufnehmer mit entsprechender Überlastsicherheit und Langzeitstabilität.

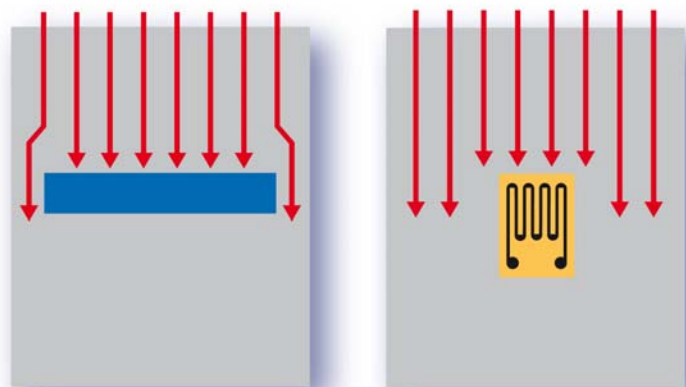


Abb. 4: Unterschiedlicher Kraftfluss durch eine Struktur mit Piezo-Sensor und durch eine Struktur mit installiertem DMS