

Kom verder



# Piëzo

in product design

9-4-2013



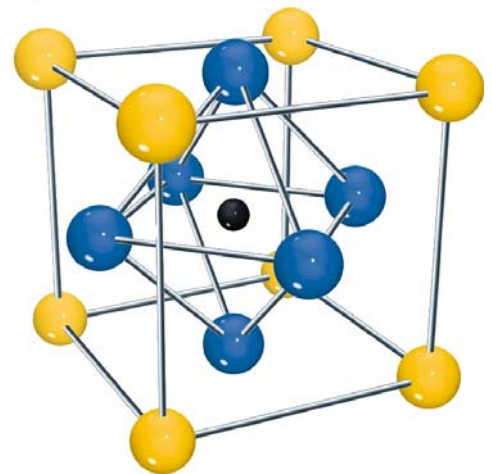
## Inleiding

Piëzo materialen worden al veel toegepast. Er zijn diverse nieuwe ontwikkelingen, zoals het piëzo effect in composieten (PVDF). Het blijkt dat deze ontwikkelingen nog in een pril stadium zijn en voorlopig niet commercieel beschikbaar.

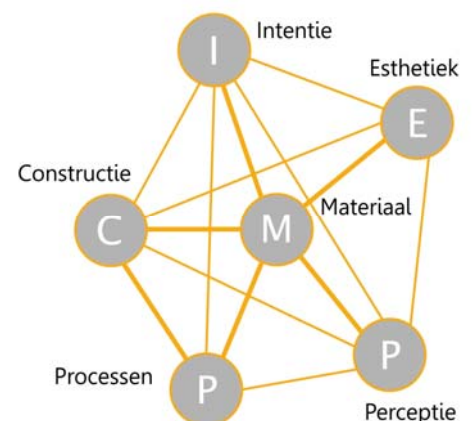
Ondanks dat het piëzo principe al jaren bestaat weten ontwerpers er nog relatief weinig van. Het piëzo principe is misschien wel bekend, maar hoe deze materialen te gebruiken in een productontwerp is een grote stap verder. Bij piëzo wordt een mechanische spanning omgezet in een elektrische spanning en vice versa. Er zijn vele piëzo elementen (halfabricaten) commercieel beschikbaar. Al naargelang de gewenste toepassing, lineaire beweging, Energy harvesting, sensor etc. kan het geschikte element worden gekozen.

In dit document wordt de piëzo techniek uitgelegd aan de hand van voorbeelden. Doel is om inzicht te krijgen in de mogelijkheden, om zo een geschikte piëzo-techniek te kiezen.

Dit document is ingedeeld met de PCMIEP structuur waarvan de indeling is te zien op de afbeelding hiernaast. De verschillende aspecten rondom piëzo worden zo behandeld dat het materiaal centraal staat. De rest van de aspecten er om heen worden in de rest van het document toegelicht.



Figuur 1: Moleculaire structuur



Figuur 2: PC MIEP structuur





## Inhoud

Inleiding .....	1
Materiaal .....	4
Proces .....	6
Productie van piëzo .....	6
Het productie proces van een piëzo element.....	6
Het ontwerpen van piëzo elementen.....	6
Intentie .....	10
Meten .....	13
Sensoren .....	13
Acoustic wave devices / elektronische componenten.....	18
Energie opwekken.....	19
Generatoren / 'harvesting' .....	19
Beweging/vibraties .....	21
Actuatoren .....	21
Transducers.....	25
Motoren.....	29
Esthetiek .....	31
Perceptie .....	31
Black-box principe.....	31
Constructie .....	32
Enkele toepassingen nader toegelicht.....	32
bronnen en verdere informatie .....	34



## Materiaal

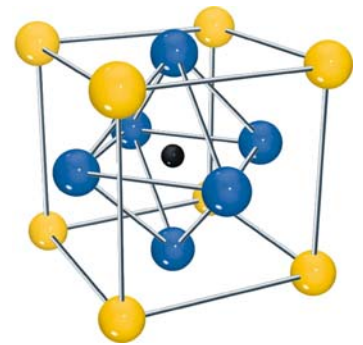
Piëzo elektrische materialen zijn doorgaans kleine elementen. Ze kunnen uitzetten en samentrekken onder invloed van een elektrische spanning. Andersom werkt het ook: het materiaal samendrukken, buigen of vervormen genereert een elektrische lading. Het materiaal heeft zeer nauwkeurige eigenschappen op Nano en micron schaal. Verder reageert het materiaal uiterst snel, vaak binnen enkele milliseconden.



Figuur 3: Piëzo elementen

### Op moleculair niveau

Hiernaast staat een afbeelding met de moleculestructuur van PZT, het meest gebruikte piëzo-materiaal. Het effect wordt gegenereerd door het middelste, zwarte deeltje (Titanaat). Zodra er op de structuur kracht wordt uitgeoefend, verplaatst het zwarte deeltje uit het midden van de structuur. Omdat dit deeltje positief geladen is, krijgt het materiaal een positieve en negatieve pool, waardoor stroom wordt opgewekt.



Figuur 4: Moleculaire

- = lood oxide
- = zirkonium
- = titanium

In dit infoblad worden regelmatig termen als  $k_{33}$ ,  $k_{31}$ ,  $d_{31}$  en  $d_{11}$  gebruikt. Dit zijn benamingen voor verschillende constanten. Elke constante heeft een eigen spanningsrichting t.o.v. de richting van polarisatie.

### Materialen die worden gebruikt:

#### Natuurlijke kristallen:

- kwarts;
- toermalijn.

Deze kristallen vertonen van nature al een piëzo-elektrisch effect. Deze kristallen kunnen alleen in bepaalde richtingen van het kristal, bewerkt worden.



### **Gefabriceerde kristallen:**

- Rochelle zout (dit is zelf te maken met huis, tuin en keukenapparatuur);
- ammonium dihidraat;
- lithium sulfaat.
- technische keramieken:
  - PZT, lood zirconaat titanaat (veruit het meest gebruikt);
  - TB, barium titanaat;
  - PT, lood titanaat;
  - PMN, lood magnesium niobaat;
  - PNN, lood nikkel niobaat.

Deze materialen zijn, in tegenstelling tot de kristallen, eenvoudig te bewerken en dus goedkoper en hebben minder beperkingen in vorm.

### **Polymeren:**

- PVDF

Dit materiaal is nog in ontwikkeling. Voordeel hiervan is dat deze materialen, in tegenstelling tot keramieken, niet zo bros zijn.

De keramiek behoort tot de ferro-elektrische materialen, het bestaat dus uit polaire kristallen. Voornamelijk worden de kristallen PZT (Lood Zirkoon Titanaat) en BT (BariumLood Titanaat) toegepast. Er zijn 'soft' en 'hard' piëzo materialen, waarmee aangegeven wordt de mate van elektrische en mechanische spanningen die er op uitgeoefend en mee bewerkstelligd kunnen worden. Zachte piëzo materialen zijn gemakkelijker te polariseren. Voorbeelden hiervan zijn actuatoren en sensors. Harde piëzo materialen kunnen meer 'elektrische en mechanische spanningen verdragen'. Vaak gebruikt bij ultrasoon toepassingen.

Omdat lood niet gewenst meer is in de EU, worden er ook loodvrije keramische piëzo materialen ontwikkeld.

### **Piezo effect**

Druk veroorzaakt lading op het oppervlak van piëzo-elektrische materialen.

Mechanische energie wordt omgezet in elektrische energie. Dit heet het direct piëzo-elektrisch effect. In het omgekeerde geval (invers – of indirect – piëzo elektrisch effect) wordt elektrische energie omgezet in mechanische energie.



## Proces

### Productie van piëzo

Er worden eerst dunne laagjes geleidende elektroden geprint. Deze worden gelamineerd met laagjes nog niet gesinterd piëzo-keramiek, die bij elkaar worden gehouden door een kunststof binder. Hierna wordt het materiaal aan elkaar vast gesinterd op hoge temperatuur, waarbij de kunststof geheel verbrand. Laagjes worden samengeperst tot zgn. Multi-layer piëzo elementen.

### Het productie proces van een piëzo element

- poeder mixen met additieven en oplosmiddel;
- poeder mengsel fijner vermalen tot homogene substantie;
- persen van mengsel in gewenste vormen (plaatjes of ringen);
- sinteren van vormen lagen (1200°C);
- dimensies controleren;
- vlak maken (schuren) van lagen en polijsten;
- aanbrengen van geleidende elektroden door nikkel te verdampen of door zeefdruk met zilver;
- polarisatie van het materiaal in 2 richtingen;
- laagjes product lijmen middels een zeefdruktechniek;
- eind assemblage van het piëzo element.

### Het ontwerpen van piëzo elementen

Het ontwerpen van piëzo elementen is een specialistisch vakgebied. Een productontwerper kan ook niet zelf een piëzo element ontwikkelen. Er zijn echter vele halffabricaten commercieel beschikbaar. Deze worden ook wel bulk piëzo genoemd.

#### Bulk piëzo

Voor druksensoren en accelerometers wordt vaak gebruik gemaakt van een massief blok piëzo. Een bulk



onderdeel is een enkelvoudig blokje van piëzo elektrisch materiaal met elektroden aan de boven- en onderkant. **Figuur 5: Direct piëzo-elektrisch effect**

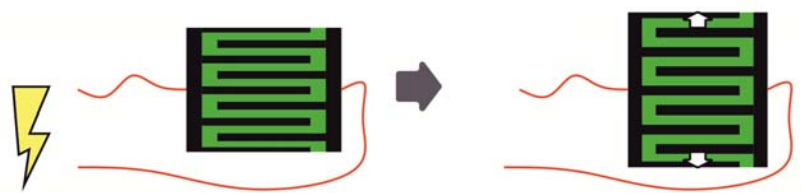


Bij het simpelweg maken van een massief blokje piëzo, zijn er de volgende nadelen:

Een grote materiaaldikte levert een hoog voltage en een laag ampèrege; de beweging die gegenereerd kan worden, ligt rond de 0,01% van de materiaaldikte. Dit is erg weinig. Om dit te voorkomen, zijn er verschillende verwerkingstechnieken ontwikkeld. In de meeste toepassingen worden variaties van de volgende technieken gebruikt.

### Multi-layer

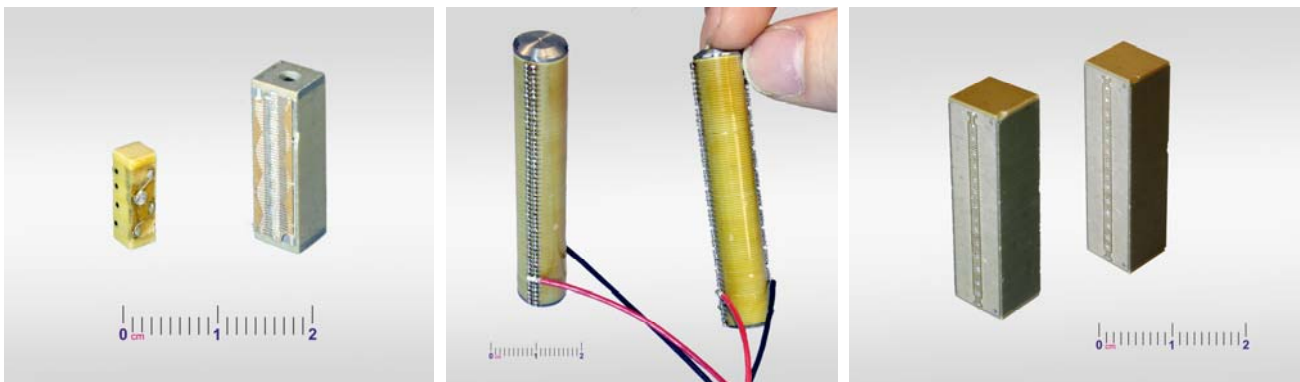
Een multi-layer component is samengesteld uit verschillende lagen piëzo elektrisch materiaal, afgewisseld met interne elektroden, die wisselend negatief en positief. Alle positieve elektroden zijn met elkaar verbonden en voor de negatieve andersom.



Figuur 6: Multi-layer piëzo

Multi-layer versies werken met rechte beweging in verschillende richtingen, door, ipv één groot blok, kleine plakjes in te pakken met elektrisch geleidend materiaal, hierdoor is een minder grote spanning nodig voor dezelfde beweging.

Hieronder enkele voorbeelden van multi-layer elementen:



Figuur 7: Multi-layer elementen



### Bimorph (multi-layer buig elementen)

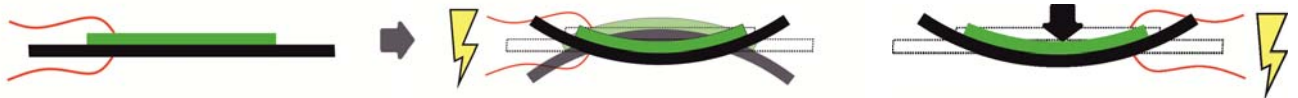
Bimorph piëzo elementen bestaan uit twee of meer lagen piëzo keramisch materiaal, vaak is er tussen de lagen piëzo een metalen plaatje aangebracht om de doorbuiging te vergroten en als geleider te fungeren. De 2 lagen zitten met de min- of pluspolen naar elkaar toe.



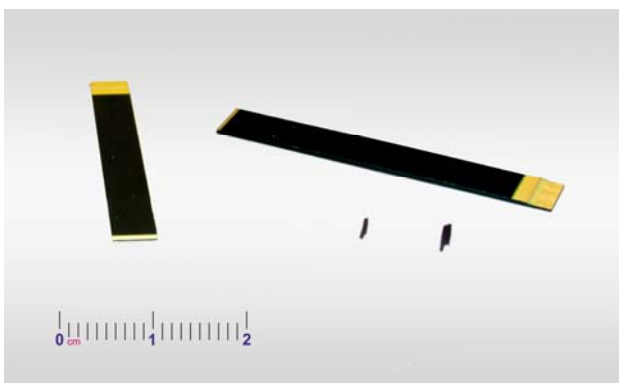
Figuur 8: Bimorph element

Een unimorph element is een element dat bevestigd is op een metalen plaatje. Er kan hiermee een doorbuigbeweging worden gerealiseerd. De onderste laag krimpt (of blijft even lang) en de bovenste laag zet uit. Door de polen om te draaien kan het twee kanten op buigen.

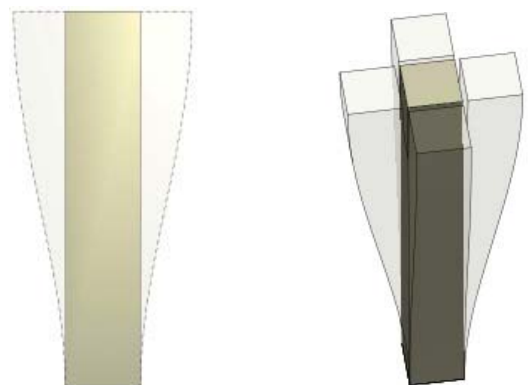
Voorbeeld van een buigend unimorph onderdeel:



Figuur 9: Unimorph buigelement

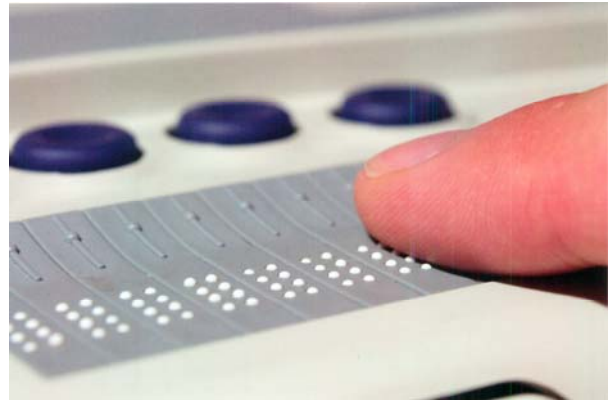
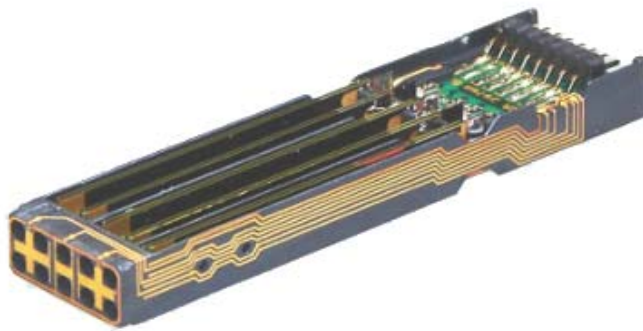


Figuur 10: Bimorph elementen



Een voorbeeld van een buigende toepassing van piëzo keramiek is de activatie van zogenaamde braille toetsen, kleine paaltjes die door een geactiveerd piëzo buig element bekrachtigd worden, de blinde voelt dat bepaalde knopjes hoger staan doordat het element ze omhoog drukt en kan zo een tekst lezen.



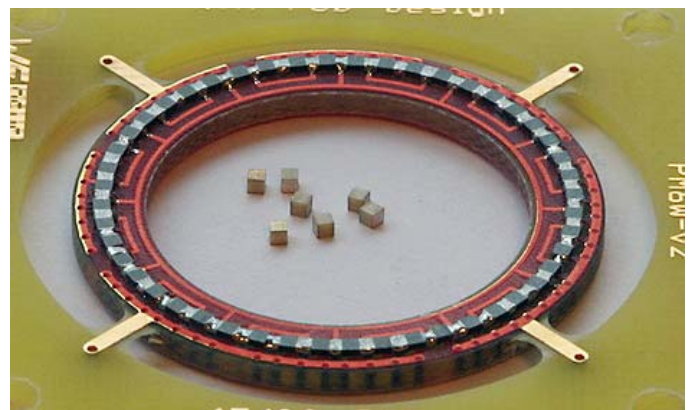
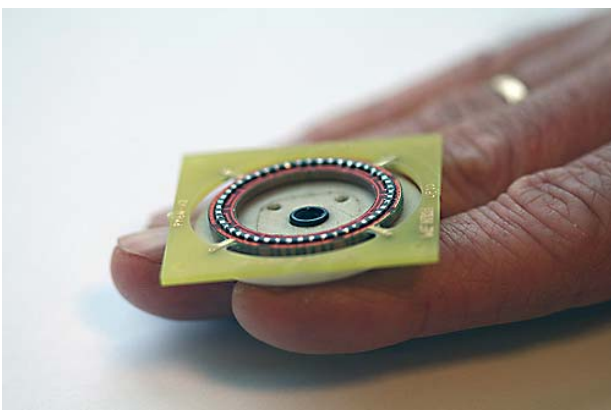
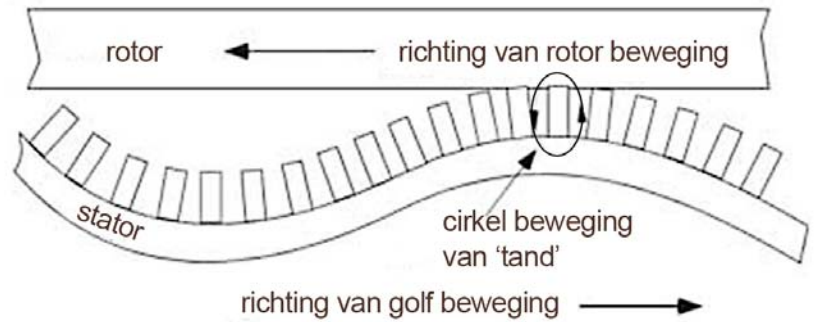
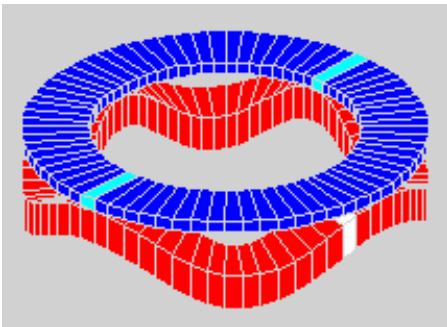


**Figuur 11: Buigelement toepassingen in braille apparaat**

Hierboven het inwendige van een braille schakelaar: de elementen zitten aan de linkerkant (laagjes), de hefboom beweegt aan de rechterkant op en neer al naar gelang er spanning op het element wordt aangebracht. Bulk componenten zijn makkelijker te maken, multi-layer kunnen hogere ladingen aan en grotere verplaatsingen genereren en ze kunnen werken op lagere spanning. Multi-layer componenten zijn ook beter bestand tegen vochtigheid en er kunnen meerdere functies worden geïntegreerd.

**Kruipmethode:**

Door het piëzo materiaal in een golfbeweging onder elektrische spanning te zetten, kan zoals hier onder te zien de blauwe ring over de rode ring kruipen.



**Figuur 12: Voorbeelden Kruipmethode**



## Intentie

### Wat doet piëzo?

Piëzo is een materiaal dat elektriciteit kan opwekken wanneer het onder mechanische spanning komt te staan.

Dit wordt het directe piëzo–elektrische effect genoemd.

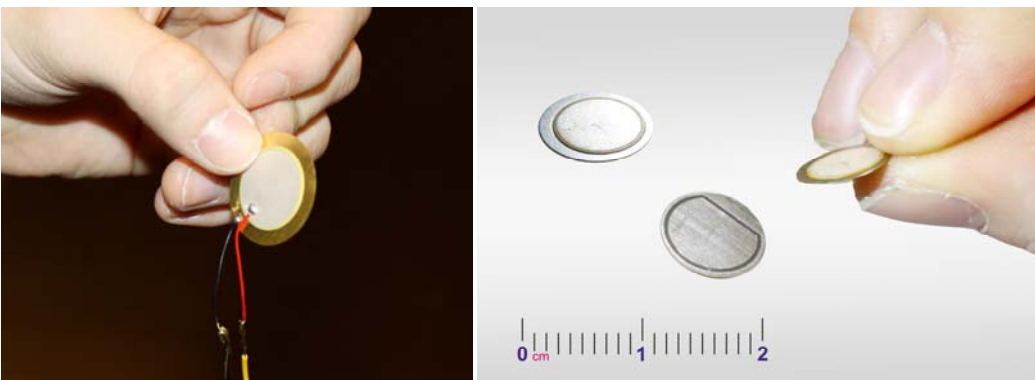
Het wordt bijvoorbeeld toegepast in een ontstekingselement in het gasfornuis:



Figuur 13: Piëzo ontsteking

Andersom kan het materiaal ook in verschillende richtingen uitzetten wanneer het onder spanning komt te staan.

Dit wordt het invers (indirecte) piëzo–elektrische effect genoemd. Het wordt bijvoorbeeld gebruikt in kleine, goedkope speakers.



Figuur 14: Piëzo speaker



## Bekende toepassingen en voorbeelden.



Het materiaal is te vinden in auto elektronica, medische apparaten en industriële systemen. Ook bekend is de toepassing in de 'aansteker' bij een gas kookstel, het pick-up element, de microfoon en luidspreker, geluidsfiltering, voor trilling reductie bij tennisrackets en ski's, bij de ontsteking in dieselmotoren, in de parkeersensor, de airbag, voor het trillen van een mobiele telefoon, voor actieve feedback van toetsen, bij het scherpstellen van een fotocamera voor het positioneren van lenzen in de camera, in inktjet printers, in PC klokken, bij een harddisk (positioneren van de lees- en schrijfkop), in blinden toetsenborden, in echoscopie – en MRI-apparaten, in micropompjes voor het afgeven van geneesmiddelen, in microscopen voor onderzoek op nanoschaal, voor het ultrasoon reinigen in medische apparaten en in vele componenten voor geïntegreerde schakelingen.



Figuur 15: Toepassingen piëzo



### Voordelen:

- nauwkeurige metingen haalbaar, omdat de omzetting van mechanische spanning naar voltage lineair is;
- nauwkeurige bewegingen kunnen gemaakt worden om dezelfde reden;
- elektrische spanning kan worden opgewekt op plekken waar andere voeding niet beschikbaar is;
- elektrische spanning kan worden opgewekt met energie die anders verloren zou gaan;
- de natuurlijke trilfrequentie die het materiaal heeft, kan gebruikt worden om horloges op tijd te laten lopen;
- het materiaal wordt al in talloze toepassingen gebruikt en is daarom goedkoop en goed verkrijgbaar.

### Nadelen:

- spanning wordt vertaald in een hoog voltage en laag ampèrage;
- bij een constante mechanische spanning loopt er maar kort een stroompje;
- de verlenging die bereikt kan worden is maximaal 0,1%, er zijn slimme methoden nodig om dit te vergroten, zoals Bimorph of Multi-layer.

Al naargelang de intentie: iets laten bewegen, meten, energie oogsten, kan er een geschikt standaard element worden geselecteerd. Hieronder een overzicht van standaard piëzo onderdelen. Verderop worden deze uitgebreid toegelicht met voorbeelden.



## Meten

### Sensoren

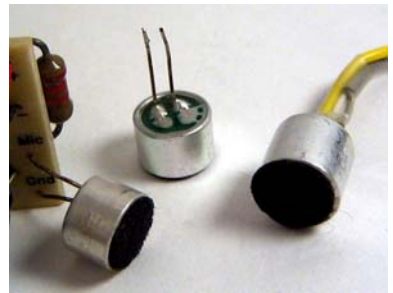
Piëzo blok sensoren kunnen een beweging zeer nauwkeurig omzetten in een elektrische spanning. Door deze spanning te meten kan worden berekend welke mechanische spanning er op het piëzo-blokje heeft gestaan. Belangrijke eigenschappen zijn:

- prijs;
- ultimate tensile strength MPa: de hoeveelheid stress waarbij een materiaal begint met dunner worden;
- piëzo-electric coupling factor C/N (Coulomb per Newton); welke elektrische lading wekt een materiaal op bij een bepaalde kracht? Deze waarde wordt behaald bij de optimale trilfrequentie;
- relative permittivity er: dit is de verhouding van energie opgeslagen in een materiaal bij een toegepast voltage ten opzichte van vacuüm. Hoe hoger deze waarde is, hoe groter de elektrische capaciteit (de hoeveelheid Coulomb) van het materiaal.



### Materialen

Er wordt voornamelijk technisch keramiek gebruikt, omdat dit makkelijker te vormen is dan kristallen. Sensoren spelen in de meeste gevallen in op het lineaire effect van de omzetting van mechanische naar elektrische energie. Hieraan voldoen alle piëzo-electrische keramieken en kristallen. De prijs en duurzaamheid onder omstandigheden zijn hier doorgaans het belangrijkste selectiecriteria.



Figuur 16: Piëzo sensoren

Veel gebruikte materialen zijn:

- PZT, lood zirconaat titanaat (het meest gebruikt);
- BT, barium titanaat;
- PMN, lood titanaat.



De sensoren worden toegepast om onbalans te meten in draaiende machines, in parkeersensoren, in niveaumeters, in flowmeters en als accelerometer (om bijvoorbeeld airbags te activeren). Verder in inbraaksystemen van auto's en glasbreuk detectoren. Daarnaast kunnen ze als geluidsbron (zoemer) en als geluidssensor (in microfoons) en in een pick-up element en elementen van muziekinstrumenten gebruikt worden om trillingen om te zetten in geluid. Ook kunnen vloeistof niveaus worden gemeten door de veranderende resonantiefrequentie van een soort stemvorkje als deze in de vloeistof komt.

De zgn. harde piëzo materialen vinden hun toepassing in ultrasoon reinigen, bewerken van materialen (lassen, boren) en op medisch terrein (ultrasoon tandplak verwijderen, chirurgische instrumenten).

Hier worden ultrasone trillingen opgewekt. Voordeel van deze materialen is onder meer de hoge stabiliteit bij flinke mechanische belastingen en grote veld sterktes.

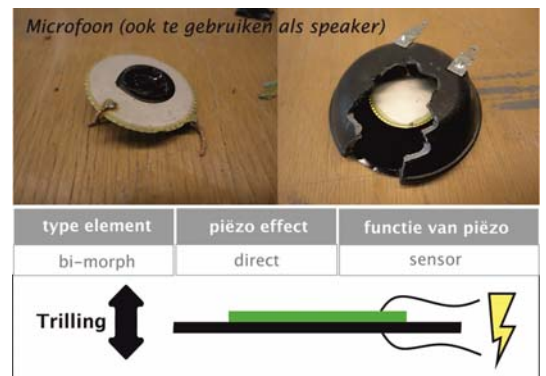
Axiale en buig sensoren worden vaak toegepast om trillingen te meten in systemen en om de conditie van machines te meten. Ook wel toegepast in speciale microfoons.

**Voorbeelden van sensoren**

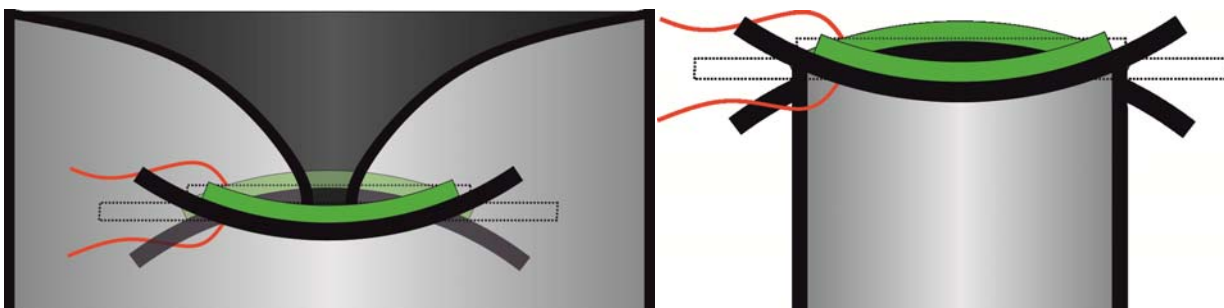
**Microfoon**

Microfoon (ook te gebruiken als speaker).

Het ronde piëzo-onderdeel trilt als een trampoline mee met omgevingsgeluid. Hierdoor gaat er stroom lopen. Door het voltage hiervan te registreren, wordt het geluid opgenomen.



Figuur 17: Microfoon element



Figuur 18: Werking microfoon

Het onderdeel, zoals hierboven weergegeven, moet zo bevestigd zijn, dat het vrij kan buigen. Het is dus het efficiëntst om het te bevestigen met bijvoorbeeld een thermoharder.



## Accelerometer

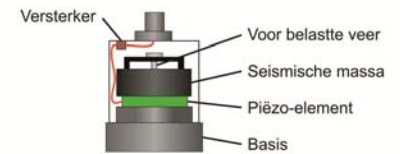
Compressie-accelerometer Dit onderdeel wordt o.a. gebruikt om airbags te activeren. Dit werkt doordat een doordat een blokje materiaal, bij een beweging die groot genoeg is, tegen een piëzo-blokje duwt. Dit blokje piëzo stuurt dan weer een signaal door naar de airbag om op te blazen.

Deze accelerometer meet een versnelling, door de verandering in kracht (van de seismische massa bovenop het piëzo-element) te meten.

Compressie-accelerometer



functie van piëzo	piëzo effect	type element
sensor	direct	bulk



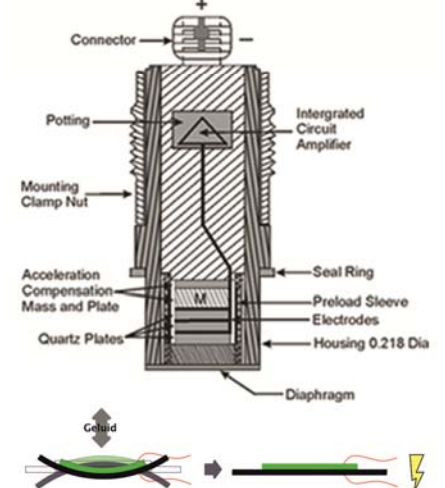
## Druksensor

Deze sensoren kunnen in bijvoorbeeld een gesloten buis gedraaid worden, zodat de druk in MPa binnen deze ruimte geregistreerd kan worden. Deze registraties worden met de volgende verschijnselen gebruikt:

- compressie
- verbranding
- explosies
- luchtdruk
- hydraulische en pneumatische drukverschillen
- cavitatie (vloeistof veranderd bij lagere druk eerder van fase)
- hoge intensiteit geluid Ballistiek
- bij deze sensoren is de druk binnen ongeveer de volgende waarden te meten: 0,69–690 MPa.



type element	piëzo effect	functie van piëzo
bi-morph	direct	sensor



De constructie hiervan lijkt vrij veel op die van een accelerometer. In dit geval wordt het piëzo (3 quartzplaten) ingesloten door de behuizing, een voorgeladen massa en daarboven weer behuizing. Zo wordt de extra druk door de compressie van het piëzo-blok geregistreerd.



Keuze op basis van eigenschappen:

Tabel 1: Eigenschappen piëzo materialen

	elasticiteits modulus (GPa)	piëzo- elektrische coupling factor, k33	diëlektrische constante	piezo- elektrische constante (g) in volt per meter, g33	piezo-elektrische constante (g) in coulomb per meter <sup>2</sup> , d33
PZT: lood zirkoon titanaat	89	0.68	1250	24.1	475
PZT: lood zirkoon titanaat	63	0.74	2750	20.9	490
PT: lood	128	0.53	270	32	67
PT: lood	128	0.53	270	32	67
BT: barium titanaat	11.4	0.38	1070	12.4	191
BT: barium titanaat	125	0.38	640	16.2	87

**Eigenschappen voor piëzo materialen kunnen zijn:**

Onderstaande eigenschappen worden vaak gehanteerd om de verschillende piëzo elementen en materialen te kunnen typeren en beoordelen voor de juiste toepassing.

**Diëlektrische eigenschappen:**

- relatieve diëlektrische constante :  $\epsilon_r / \epsilon_0$   
*Hoe hoger deze waarde is, hoe groter de elektrische capaciteit (dus hoeveelheid coulomb) van het materiaal;*
- diëlektrische verliesfactor:  $\tan \delta$  ( $10^{-4}$ )
- relative permittivity : *er dit is een maat voor de polariseerbaarheid van het materiaal*





### Elektromagnetische eigenschappen:

- coupling factoren:  $k_p$  |  $k_{31}$  |  $k_{33}$  |  $k_t$  (C/N)

*Dit is een maat voor de effectiviteit van het piëzo elektrisch effect, het beschrijft de mogelijkheid van het piëzo elektrisch materiaal om elektrische energie om te zetten in mechanische energie en vice versa;*

- piëzo elektrische ladings constante:

$-d_{31}$  ( $10^{-12}$  C/N) |  $-d_{33}$  ( $10^{-12}$  C/N) |  $-d_{15}$  ( $10^{-12}$  C/N)

*Dit is een maat voor de elektrische spanning die wordt opgewekt door de aangebrachte mechanische spanning of omgekeerd;*

- piëzo elektrische spannings constante:

$-g_{31}$  ( $10^{-3}$  Vm/N) |  $-g_{33}$  ( $10^{-3}$  Vm/N)

*De verhouding tussen het elektrische veld  $E$  en de opgeleverde mechanische spanning  $T$ ;*

- frequentie constante:  $NE_p$  |  $ND_t$  |  $NE_1$  |  $ND_3$

*Deze komt overeen met de helft van de snelheid van de geluidsgolf die zich voortplant door het keramische lichaam;*

### Fysieke eigenschappen:

- mechanische kwaliteitsfactor :  $Q_m$

*Deze karakteriseert de resonantiescherpte van een piëzo elektrisch lichaam; de omgekeerde waarde hiervan is de mechanische verliesfactor;*

- dichtheid:  $\rho$  ( $10^{-3}$  kg/m<sup>3</sup>)

- elastische compliantie:

$sE_{11}$  ( $10^{-12}$  m<sup>2</sup>/N) |  $sE_{33}$  ( $10^{-12}$  m<sup>2</sup>/N)

*Dit is een maat voor de verhouding tussen de relatieve vervorming  $S$  en de mechanische spanning  $T$*

- Curie temperatuur:  $T_c$  (°C)



## Acoustic wave devices / elektronische componenten

Piëzo kan ook worden toegepast in apparaten waarmee geluidsgolven worden gemeten of geproduceerd.

Te denken valt aan allerlei sensoren om magneetvelden of stralingsbronnen te detecteren.

Voorbeelden van elektro-akoustische toepassing zijn geluid-transduces, microfoons, frequentie filters, oscillatoren en tijdsmetingen.

Verder is het mogelijk om zeer fijne deeltjes te selecteren bij het gebruik van piëzo als detector, voorbeeld hiervan zijn bijvoorbeeld stofdeeltjes.



Figuur 19: Akoestische sensor



## Energie opwekken

### Generatoren / 'harvesting'

De laatste jaren worden er toepassingen van piëzo als generator ontwikkeld. De elektronische circuits van producten hebben namelijk een steeds lager vermogen nodig om te kunnen functioneren. Piëzo is hiermee een optie geworden als bruikbare energiebron. Voorbeeld hiervan is bijvoorbeeld een interactieve tegel die LED's laat oplichten door erop te springen (Taw 'e-tegel').



Figuur 20: Taw 'e-tegel'

Piëzo kan een beweging omzetten in elektriciteit. Zo kunnen apparaten op een lastige plek gevoed worden, of kan onbenutte energie gebruikt worden om apparaten van elektriciteit te voorzien.

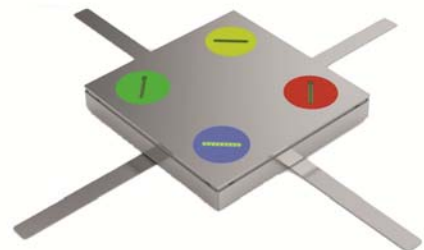
Piëzo als energie generator toe te passen heeft als voordelen:

- elektriciteit kan worden opgewekt op lastig te bereiken plekken;
- er is vrijwel geen onderhoud noodzakelijk;
- het heeft een grote levensduur;
- lage kostprijs voor de piëzo componenten.

Als nadelen zijn er:

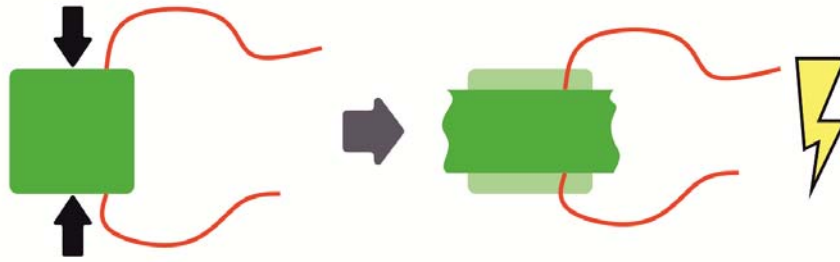
- lage elektriciteit opbrengst (afhankelijk van de kracht en aantal cycli per uur);
- veel variabelen die invloed hebben op het rendement;
- er is moeilijk om aan te rekenen. Om te bepalen of een element geschikt is voor een bepaalde toepassing moet gekozen worden voor empirisch onderzoek.

Taw e-tegel



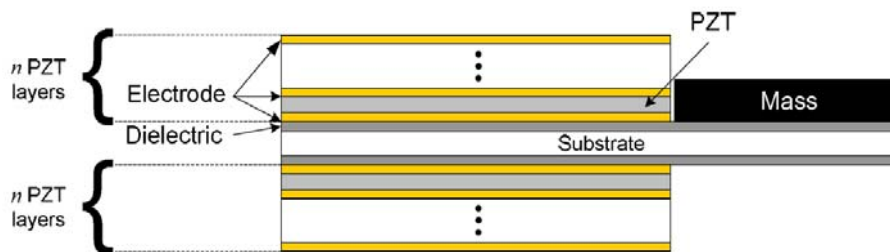
functie van piëzo	piëzo effect	type element
harvesting	direct	bi-morph

Figuur 21: e-tegel



Figuur 22: Piëzo-elektrische werking

Er wordt voornamelijk technisch keramiek gebruikt, omdat dit makkelijker te vormen is dan kristallen en mede daardoor goedkoper is om in te zetten.



Figuur 23: Bimorph generator

Voor energy harvesting worden vaak bimorph elementen gebruikt in combinatie met een massa. Door de massa in trilling te brengen worden de piëzo lagen constant vervormd. Zo wordt er een constante spanning geleverd door het element.

#### De belangrijkste eigenschappen zijn:

- piëzo-electric coupling factor  $C/N$  (Coulomb per Newton): welke elektrische lading wekt een materiaal op bij een bepaalde kracht? Deze waarde wordt behaald bij de optimale trilfrequentie;
- relative permittivity  $\epsilon_r$ : dit is de verhouding van energie opgeslagen in een materiaal bij een toegepast voltage ten opzichte van vacuüm. Kortom: hoe hoger deze waarde is, hoe groter de elektrische capaciteit (dus hoeveelheid coulomb) van het materiaal;
- prijs.

#### Veel gebruikte materialen

Hoofdgroepen, bv PZT, verdeeld in subgroepen, bijv. PZT-5A):

- PZT, lood zirconaat titanaat (veruit het meest gebruikt);
- TB, barium titanaat;
- PMN, lood titanaat.



## Beweging/vibraties

### Actuatoren

Door piëzo onder elektrische spanning te zetten kan er een beweging gecreëerd worden dit komt door de uitzetting en inkrimping van het piëzo materiaal. Deze bewegingen kunnen gebruikt worden om iets aan te sturen en in dit gebruik is het een actuator.

Er zijn verschillende soorten actuatoren:

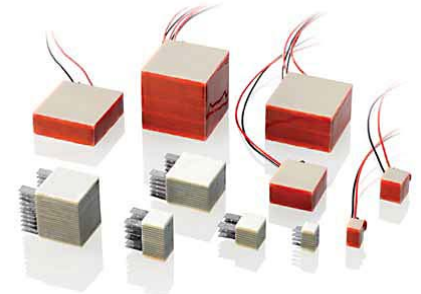
#### Longitudinale actuatoren

Dit zijn vaak cilindervormige of blokvormige elementen van gestapelde laagjes materiaal, die in de lengte of as richting de verplaatsing opleveren. Het element zal uitzetten.



#### Afschuivings actuatoren

Bij deze actuatoren staat het elektrische veld in de keramische laag haaks op de polarisatie- en verplaatsing richting. Het element zal ombuigen.



#### Buis actuatoren

Buis actuatoren zijn radiaal gepolariseerd, verplaatsing in zijwaartse en lengte richting is mogelijk.



#### Samentrekkende actuatoren (contractie)

Bij contractie actuatoren zijn twee of meer lagen materiaal op elkaar gestapeld, waardoor bij het aanbrengen van elektrische spanning buiging optreedt van het element.

De verplaatsing vindt plaats loodrecht op de polarisatie richting en parallel aan het vlak. Gestapeld leveren ze grotere krachten op en kunnen met lagere spanningen werken.



#### Multi-layer lineaire actuatoren

Keramisch multi-layer actuatoren hebben al een groot effect bij lage elektrische spanningen. Hoogten van de actuator to 2 à 3 mm en tot wel 100 laagjes dik.



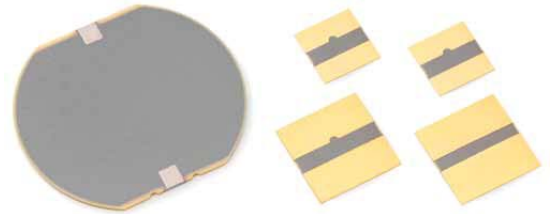
Figuur 24: Actuatoren



Er worden dus meerdere 'losse' actuatoren op elkaar geplakt, waardoor een groter verplaatsingseffect (uitzetting of buiging) verkregen kan worden.

### Stack (gestapelde) actuatoren

Deze hebben een lage slagsterkte en een hoge blokkeersterkte (de kracht benodigd om een geladen actuator terug te duwen naar de '0-stand', waarin geen verplaatsing meer optreedt). Ze werken vaak met voltages tussen de 500 V en 1000 V.



### Strip actuatoren (buig actuatoren)

Deze zijn bedoeld om relatief grote mechanische verbuiging op te wekken als reactie op het aanbrengen van elektrische spanning. Deze zijn gemakkelijker terug te duwen (tegen de spanning in).



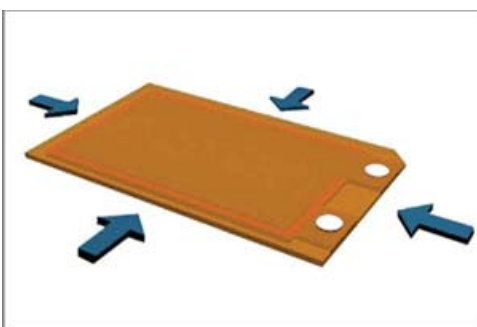
### Toepassingen

Toepassing in precisie naaimachines, braille apparaten, focus mechanismes in videocamera's en mobiele telefoons die van een camera zijn voorzien; verder bij actieve trillingsonderdrukking, Nanopositionering, focusering, actieve optische filters, shutters (sluiters) voor lasers/X-Ray, tilt mechanismen, vervormbare flaps (luchtvaart), proportionele ventielen, EHA's (Electro Hydrostatic Actuators), actieve gereedschapscontrole (ovaal draaien, dempen van beitel- en slijpwieltrillingen) en glassnijden.

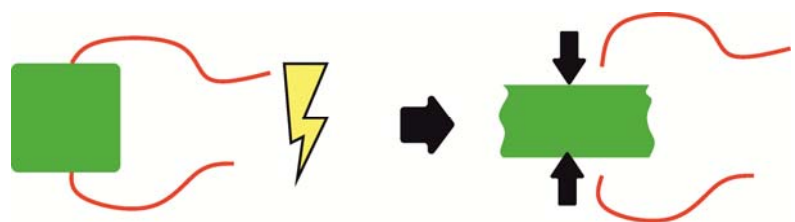
**Figuur 25: Actuatoren**

### Werking

Er is een transversaal effect, waarbij het materiaal samentrekt als er spanning op wordt gezet.



**Figuur 26: Werking transversaal effect**

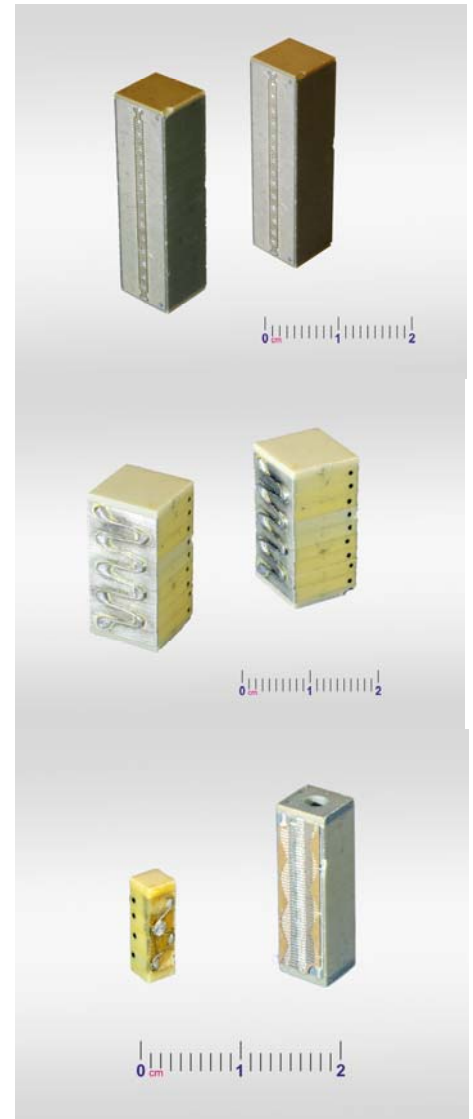




Gestapelde actuatoren bestaan uit dunne laagjes piëzo keramisch materiaal met een standaard laagdikte van 0,5 mm. Deze stapels worden samengeperst en gesinterd en daarna gescheiden tot plaatjes met diamant zaag gereedschap. Daarna worden de metalen elektroden bevestigd aan de plaatjes. Tussen twee laagjes piëzo keramiek zit steeds een dun metalen plaatje om de elektrische spanning op aan te sluiten.

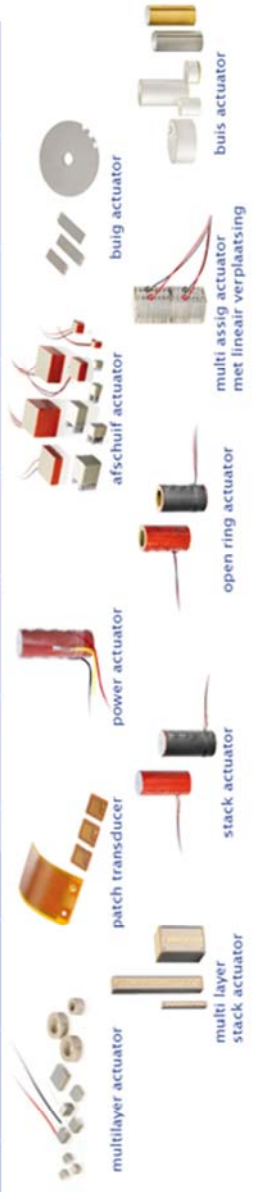
#### Voordelen actuatoren van piëzo:

- hoge positioneer snelheden mogelijk;
- zeer hoge betrouwbaarheid;
- geen productie van warmte, geen koeling benodigd;
- zeer laag energieverbruik;
- hoge compactheid;
- geluidloos functioneren;
- actuator kan gemodificeerd worden voor verschillende toepassingen.



Figuur 27: Gestapelde actuatoren

eigenschappen en keuzecriteria											
compactheid van het element (mm <sup>3</sup> )	X		X					X			
snelle reactietijd (µs)	µs		µs					µs			ms
hoge nauwkeurigheid (tot sub-nanometer niveau)	X		X					X			X
grote betrouwbaarheid	X		X					>10 <sup>9</sup> cycl.			
verplaatsings range (µm tot mm)								tot 300 µm			tot 2mm
verplaatsingsrichtingen (radiaal   axiaal   lateraal)								tot 80 kN			R A L
kracht opbrengst (kN)								X			
hoge laad capaciteit								X			
korte oplaadtijd (t)								X			
lage benodigde werk spanning (C)											X
gebruikstemperatuur (°C)	tot 150°C		tot 150°C					tot 80°C			tot 150°C
laag stroomverbruik (A)											X
temperatuur stabiliteit (ΔT/t)											
vochtbestendigheid	X		X								X
geschiktheid voor hoog vacuüm (hPa)	10 <sup>-9</sup> hPa		10 <sup>-9</sup> hPa					X			10 <sup>-9</sup> hPa
levensduur	X		X					X			
stijfheid, sterkte			X								
resolutie niveau (pico   nano   subnano)	subnano		subnano					subnano			nano subnano
geschiktheid voor dynamische toepassingen											X
resonantie frequentie											hoog
mogelijke buigradius bij flexibele elementen			X								
beschikbare vormen / designs								X		X	X
leverbaar in niet magnetische uitvoering								X		X	
prijs											
materiaal											loodvrij







## Transducers

Transducer is een benaming voor de combinatie van een sensor en een actuator.

Piëzo elektrische transducers zetten elektrische ladingen die door sommige materialen worden opgewekt om in energie. Typische materialen hierbij zijn piëzo-elektrische keramieken die inzetbaar zijn tot 300°C en kunnen werken op relatief lage elektrische spanningen.

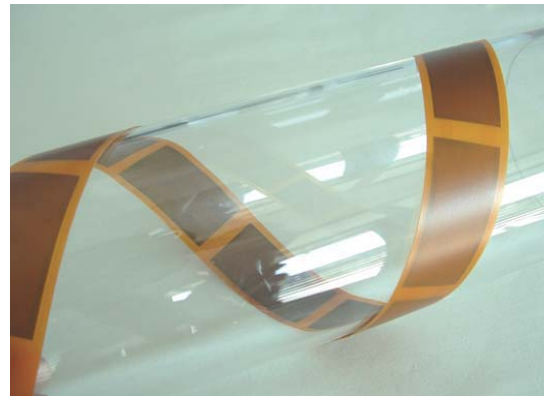
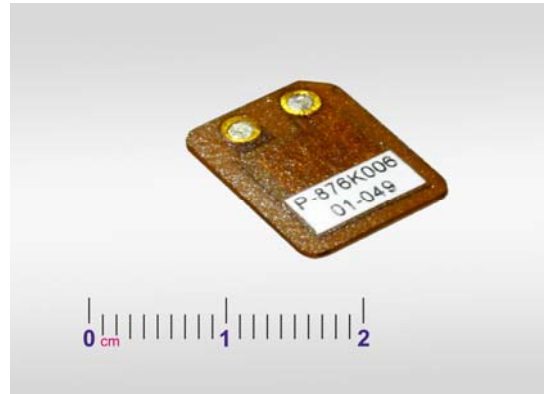
Transducers worden toegepast als sensoren die reageren op zowel mechanische spanningen als slagkracht, buiging of druk en als precisie actuatoren voor positioneren of buigen.

Een ander voorbeeld is het microfoon signaal omgezet in een versterkt geluidssignaal.

Standaard uitvoeringen zijn een keramische laag met een dikte van 100 tot 500  $\mu$  die gemetalliseerd is voor elektrische geleiding.

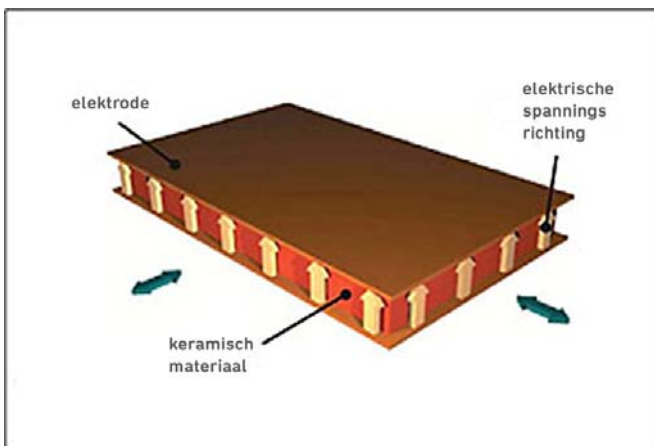
Variante hierop is de multi-layer versie, waarbij meerdere lagen op elkaar zijn geplaatst, waardoor grotere krachten mogelijk zijn bij dezelfde elektrische spanning.

Er zijn single-layer en multi-layer versies. Ze kunnen signalen (golven) zenden en ontvangen tegelijk.

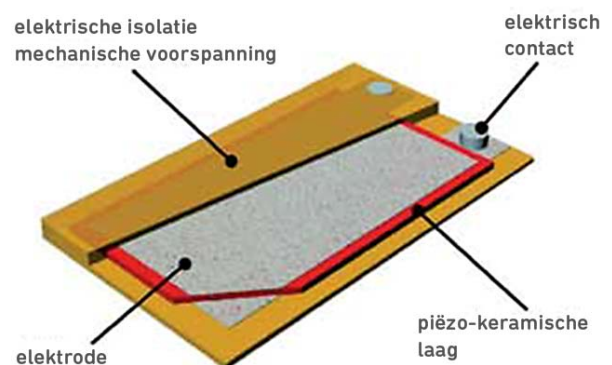


Figuur 28: Voorbeelden transducers

## Werking

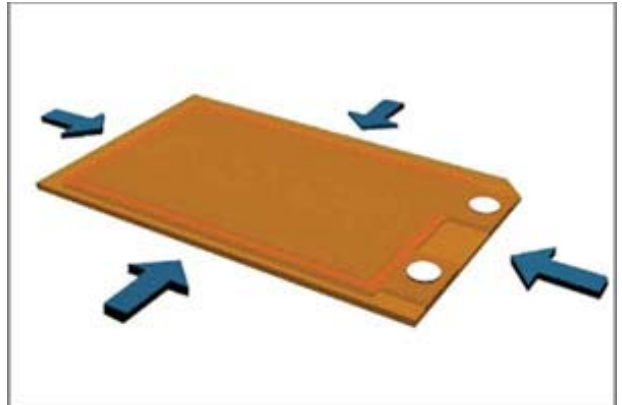


Figuur 29: Werking transducer





Een zogeheten 'patch' transducer is een plat gelaagd element, dat lijkt op een condensator. De keramische laag in het midden werkt als een diëlektricum tussen de twee buitenste metalen lagen. Wanneer er spanning op de metaallagen wordt gezet, ontstaat er een elektrisch veld in de keramiek laag. Dit veld veroorzaakt een samentrekking van het keramiek in zijwaartse richting, loodrecht op de richting van de spanning.



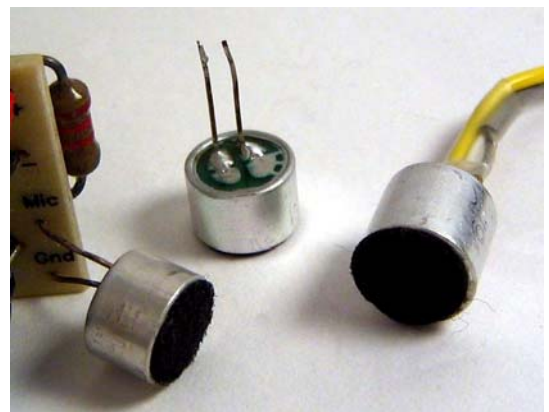
Figuur 30: Patch transducer

Door een dergelijk element op een oppervlak te bevestigen kan enerzijds een kracht worden overgebracht (grootte afhankelijk van de aangebrachte spanning), anderzijds kan een vervorming van dat oppervlak nauwkeurig worden waargenomen, ook uiterst snel.

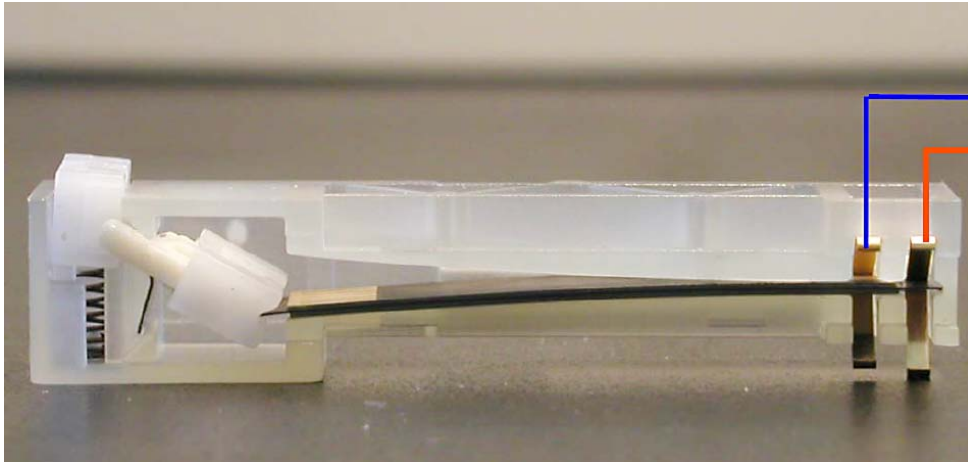
#### Toepassingen:

- toegepast in communicatie apparatuur, sonars, ultrasoon las apparatuur en ultrasoon reinigingsapparatuur;
- gebruikt voor trillingsdemping;
- ingezet bij monitoring van de functionele en structurele integriteit van onderdelen;
- toe te passen voor heel snelle schakelaars.

Alles toe te passen in omgevingen waar veel beweging plaats vindt met hoge frequenties bij nauwkeurigheden onder het micron niveau.



Figuur 31: Piëzo microfoon



Figuur 32: Voorbeeld schakelaar

Om piëzo (patch-) transducers in te zetten heeft de volgende voordelen:

- zeer bestendig tegen beschadiging;
- goed gedefinieerde mechanische en elektrische eigenschappen;
- compactheid;
- lange levensduur;
- grote bandbreedte (krachten en spanningen);
- kan op gekromde oppervlakken worden toegepast (buigbare versies);
- lage prijs;
- in te zetten als actuator, sensor of spanningsbron (harvesting);
- de multi-layer uitvoering is een combinatie van actuator en sensor.



**Eigenschappen waarop geselecteerd kan worden:**  
 (bij de keuze van een (standaard) patch transducer)

**Tabel 3: Tabel met mogelijke keuze eigenschappen**

indicatie waarden (min/max)	eenheid	laagste waarde ±	hoogste waarde ±
afmeting	mm	30 x 15 x 0,5	150 x 75 x 0,8
gewicht	g	1	50
actief oppervlak	mm <sup>2</sup>	1	100
capaciteit	nF	5	600
spanningsbereik min/max	V	- 250	1000
zijwaartse contractie/spanning	{ $\mu\text{m}/\text{m}$ }/V	0,6	1,5
zijwaartse contractie vrijheid S0	$\mu\text{m}/\text{m}$	650	800
blokkeringskracht $F_b$	N	100	2500
elasticiteitsmodulus E	GPa	15	40



## Motoren

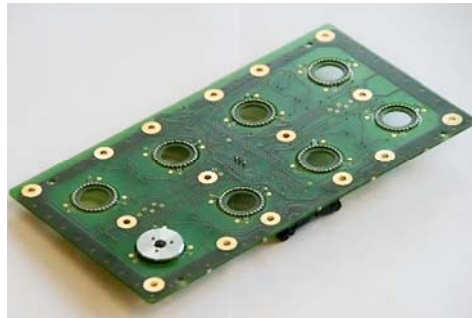
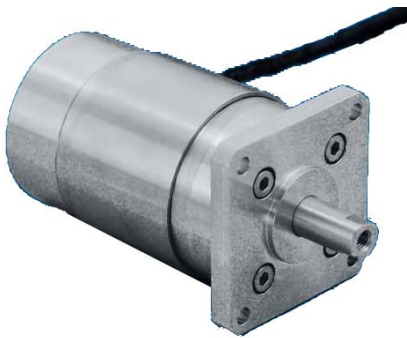
Door de piëzo op een bepaalde manier te laten bewegen, kan het gebruikt worden om een beweging mee te creëren, hierdoor kan het als elektromotor gebruikt worden. Deze motoren kunnen draaien met een erg laag toerental ( $\pm 1$  rotatie per seconde) en kan een draaiing van bijvoorbeeld 45 graden erg nauwkeurig behaald worden. Er kunnen met piëzo materiaal ook kleine, vaak heel snelle motoren worden gerealiseerd. Er zijn verschillende soorten actuatoren die als motor werken, stappenmotoren, ultrasone motoren en piëzo-wandel motoren.

Hier een overzicht van de verschillende soorten motoren:

	Rotatie	lineair
Stappenmotoren		 
Ultrasone motoren		 
Piëzo-wandel motoren		



Toepassingen van piëzo motoren zijn legio: microscopie, biotechnologie, medische technologie, Nano technologie en de halfgeleider technologie.

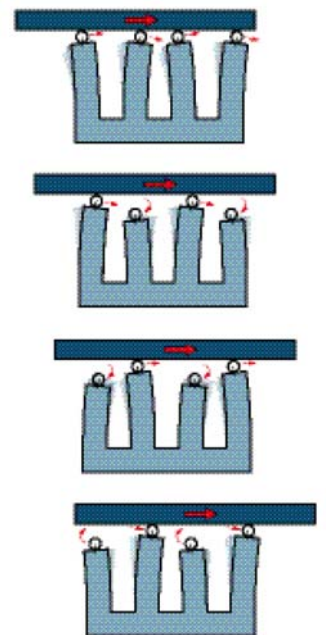


Figuur 33: Piëzo motoren

### Werking

Er zijn motoren die werken als stappenmotor en motoren die werken volgens het 'walk' oftewel het wandel principe. De stappen motoren werken volgens een lineair verplaatsingsmechanisme, gelijk aan de werking van actuatoren. Kleine pulsjes drijven de bewegende delen aan van een draaiend plateau of een lineaire beweging.

De 'wandel' uitvoering werkt doordat keramische pootjes elektrisch geactiveerd worden en daardoor enigszins kromtrekken, waardoor en erop liggende onderdeel verplaatst kan worden (met steeds heel kleine stapjes, maar wel heel snel).



Figuur 34: "Wandel" principe



## Esthetiek

De piëzo-elektrische materialen zijn vaak kleine onderdelen die niet zichtbaar zijn voor de gebruiker van een product waar ze in verwerkt zitten. De impact van deze kleine onderdelen is echter heel groot. Zonder deze onderdelen zouden veel apparaten niet werken of een veel groter formaat hebben dan ze nu hebben (compact piëzo).

Bij de productie van piëzo wordt geen rekening gehouden met vorm en uiterlijk, dit omdat het materiaal relatief duur is te produceren en daarom wordt het vaak in grote aantallen (bulk) geproduceerd. Het standaard element is uitgangspunt voor de vorm van de behuizing.

## Perceptie

### Black-box principe

De werking van piëzo is bij de meeste mensen niet bekend, daarom is het ook zo dat het toegepast wordt als een black-box principe. Het is daarbij zo dat er een behuizing is waarin het piëzo-materiaal is verwerkt en de gebruiker een bepaalde input moet geven om een output te krijgen, de werking van de omzetting binnen het apparaat is onbekend voor de gebruiker. Het is een black-box met zeer kleine bewegingen en nauwelijks of niet waarneembaar. Hier volgen enkele voorbeelden.

### Aansteker

Een van de bekendste voorbeelden is de drukknop gasaansteker. Door de knop in te drukken ontstaat er een vonkje waardoor het gas wordt ontstoken.

### Piëzo-elektromotor

Bij een elektromotor is vaak niet bekend hoe de werking van de motor is bij de gebruiker, het is een apparaatje waarbij men er een spanning in stopt en er een beweging ontstaat.

### Pintoetsen

Mensen gaan vaak pinnen maar ze weten in feite niet hoe het apparaat bepaalde informatie verwerkt. Zo drukken ze op de toetsen en daardoor komt er in beeld te staan wat ingedrukt is.



## Constructie

### Enkele toepassingen nader toegelicht

*Druknop aansteker*

LED liniaal door de liniaal te laten trillen, zet het piëzo element deze trilling om in elektriciteit en daardoor lichten de LED's op; dit kan door de liniaal over de rand van de tafel te houden en langs het uiteinde van de liniaal te slaan.

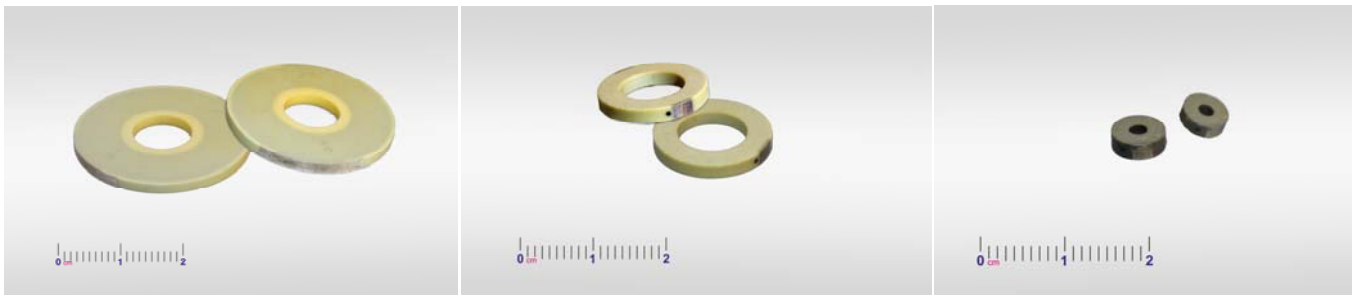
type element	piëzo effect	functie van piëzo
bulk	direct	harvesting

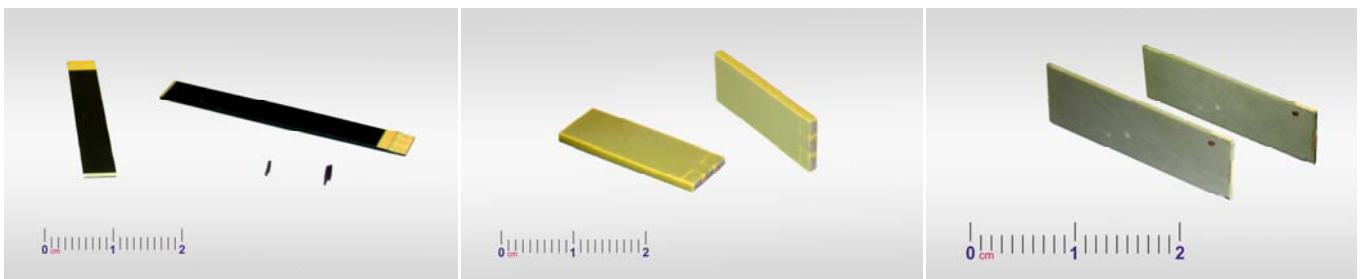
type element	piëzo effect	functie van piëzo
bi-morph	direct	sensor

**Trilling**

Figuur 35: Toepassingen

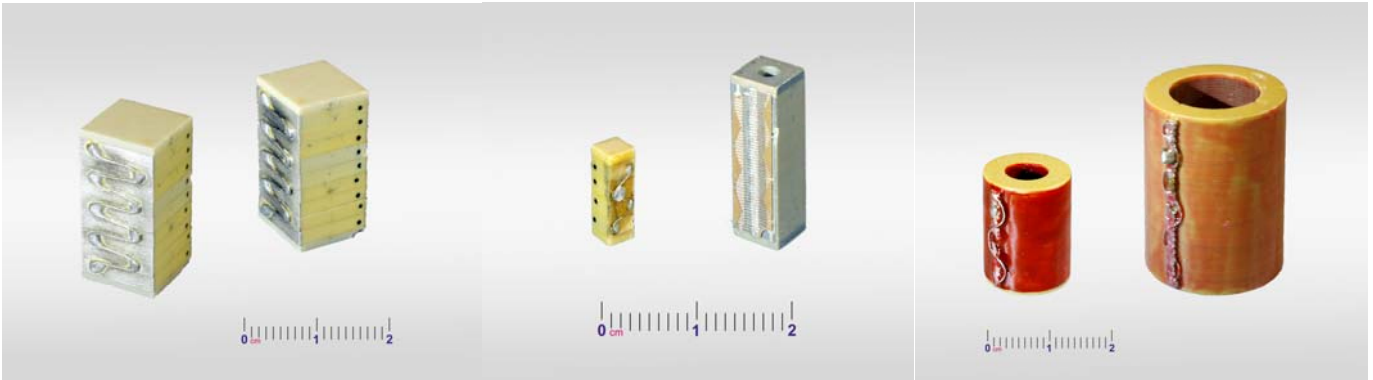


Figuur 36: Ring elementen/Bulk PZT/Multilayer

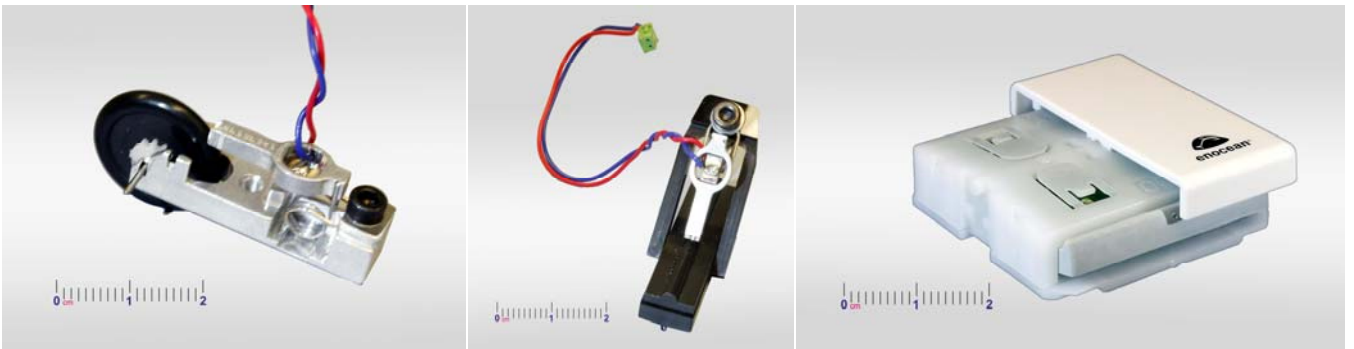


Figuur 37: Platte elementen/Bimorph/Multilayer/PZT





Figuur 38: Multilayer/Stack elementen



Figuur 39: Piëzo motor

Figuur 40: Schakelaar

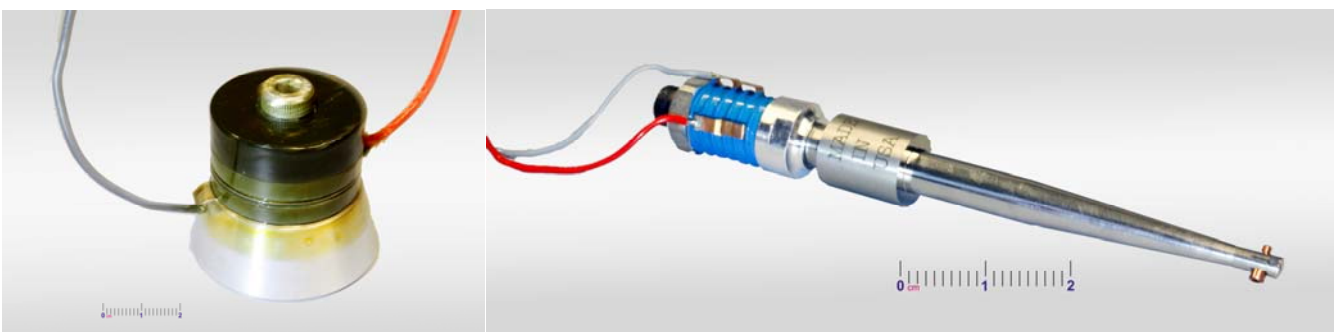
Figuur 41: Lineaire motor



Figuur 42: Piëzo schakelaar

Figuur 43: Piëzo schakelaar

Figuur 44: Piëzo sensor



Figuur 45: Ultrasoon transducers



## bronnen en verdere informatie

toepassing voorbeelden (figuren):  
figuren overige pagina's:  
gegevens in tabellen:

Stichting Applied Piëzo  
Noliac en Physik Instrumente  
Physik Instrumente

American Piëzo :

<http://www.americanpiezo.com>

Noliac :

<http://www.noliac.com>

PI instrumente :

<http://www.piceramic.com>

Applied Piëzo :

<http://www.applied-piezo.com>

FH-Kiel :

<http://www.fh-kiel.de>

Artikel:

A BIMORPH MULTI-LAYER PIEZOELECTRIC VIBRATION ENERGY HARVESTER, Dibin Zhu e.a., University of Southampton.