

L'effetto piezoelettrico e le sue applicazioni

HBM, Darmstadt

Publicato su hbm.com: <http://www.hbm-italia.it/custserv/SEURLF/ASP/SFS/ID.813/MM.4.36.34/SFE/techarticles.htm>

Numero di riferimento: 813_it

L'effetto **piezoelettrico** descrive l'interazione fra la pressione meccanica (dal greco: piézin – compressione, pressione) e la tensione elettrica nei solidi. Esso si basa sul fenomeno per cui appaiono delle cariche elettriche sulla superficie di certi materiali quando essi vengono deformati.

Il modo in cui molti organismi viventi usano la piezoelettricità è molto interessante: le ossa agiscono come dei sensori di forza. Applicando una forza, le ossa producono delle cariche elettriche proporzionali alla loro sollecitazione interna. Queste cariche stimolano e causano la crescita di nuovo materiale osseo, rinforzando la robustezza della struttura ossea in quelle zone in cui la deflessione interna è più elevata. Ne risultano strutture con minimo carico specifico e, pertanto, con eccellente rapporto peso-resistenza.

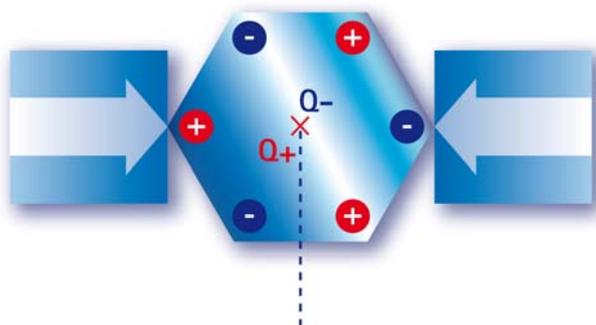


Fig. 1: Effetto piezoelettrico: applicando una forza a certi materiali viene prodotta una tensione elettrica

Scoperta

Le proprietà elettriche della tormalina (la pietra preziosa che attrae le particelle di cenere se scaldata con fuoco vivo) sono note da molti anni. L'elettricità dipendente dalla temperatura indussero Coulomb e Becquerel a sospettare che vi fosse anche l'elettricità dipendente dalla pressione. Essi lavorarono a questa teoria, senza tuttavia individuare alcuna prova. Dopo molte false partenze, in cui solitamente ciò che veniva descritto era elettricità da frizione, nel 1880 i fratelli Pierre e Jacques Curie scopersero finalmente l'effetto piezoelettrico della tormalina.

Essi poterono provare sperimentalmente che si sviluppava una tensione superficiale appena veniva applicata una pressione meccanica al cristallo. Poco dopo trovarono la medesima proprietà su altri cristalli, quali il quarzo ed il topazio.

I due fratelli chiamarono la loro scoperta elettricità polare, espressione poi trasformata in piezoelettricità. Nel 1881, Gabriel Lippmann predisse l'effetto piezoelettrico inverso, cioè la deformazione di un cristallo provocata da un campo elettrico. I fratelli Curie concordarono con Lippmann. Infine essi furono capaci di provarlo sperimentalmente. Guardando indietro, la scoperta dei fratelli Curie è realmente rimarchevole, soprattutto pensando alle poche risorse di cui essi disponevano. Essi proseguirono provando l'effetto piezoelettrico su fogli di stagno, colla, fili e magneti, ma la loro più importante qualità fu l'acuta intuizione.

Materiali

Per i sensori piezoelettrici vengono usati due importanti gruppi di materiali: ceramiche piezoelettriche e materiali a cristallo singolo. Le ceramiche (come le PZT) si producono con un processo di sinterizzazione ed hanno costante piezoelettrica che può essere di due ordini di magnitudo superiore a quella dei materiali di cristallo. Sfortunatamente, questa elevata sensibilità è associata alla bassa stabilità a lungo termine. Si immagina che le ceramiche piezoelettriche siano come una barra di ferro magnetizzata (o come una cassetta musicale). La magnetizzazione viene "impressa" addizionalmente e non può essere cambiata.

I materiali monocristallo (quale la tormalina, il quarzo ed il fosfato di gallio: GaPO_4) si comportano esattamente all'opposto. In essi, la struttura specifica del lattice di cristallo è la responsabile dell'effetto. In genere, i cristalli sono meno sensibili, ma hanno stabilità a lungo termine molto più elevata, virtualmente infinita.



Fig. 2: Il fosfato di gallio (GaPO_4) si distingue per la sua elevata stabilità a lungo termine

Alcuni dei materiali usati – particolarmente il fosfato di gallio e la tormalina – hanno eccellente stabilità in ampie gamme di temperatura, e ciò rende possibile l'estensione del campo di impiego dei cristalli piezoelettrici quasi a 1000 °C.

Tutte le piezoceramiche e le tormaline sono non solo piezoelettriche, bensì anche piroelettriche. Ciò significa che viene generato un segnale di carica non solo ad un cambiamento della pressione, ma anche ad un cambiamento della temperatura. Questa è una proprietà non posseduta da materiali quali il quarzo ed il fosfato di gallio, ed è la ragione che rende quest'ultimi cristalli particolarmente idonei ad effettuare le misurazioni.

Applicazioni

Questo principio di misura è entrato in uso solo nel 1994 ed è oggi diventata una sofisticata tecnologia con eccezionale affidabilità intrinseca. Per questo l'effetto piezoelettrico viene ora impiegato con successo in numerosi e critici campi di applicazione che spaziano dalla tecnologia medica, a quella aerospaziale ed a quella nucleare.

L'ascesa della tecnologia piezoelettrica si basa su numerosi vantaggi intrinseci. L'elevato modulo elastico di molti materiali piezoelettrici è paragonabile a quello di molti metalli. Sebbene i sensori piezoelettrici siano dei sistemi elettromeccanici che reagiscono alla pressione, i loro elementi di misura sono virtualmente indeformabili (tipicamente la compressione li deflette solo di pochi micrometri).

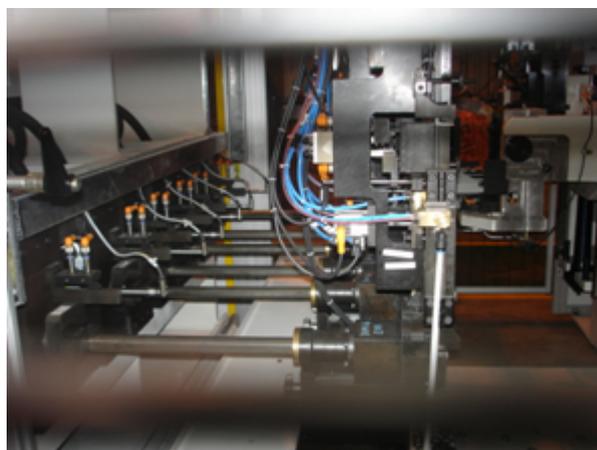


Fig. 3: La tecnologia piezoelettrica è l'ideale per il monitoraggio di processi industriali

Esiste una ragione per la robustezza dei sensori piezoelettrici, per la loro frequenza naturale molto elevata e per l'eccellente linearità, anche nelle condizioni operative più severe: la tecnologia piezoelettrica non è influenzata né dai campi magnetici che dalle radiazioni.

Uno svantaggio dei sensori piezoelettrici si ha quando vengono impiegati per le misurazioni realmente statiche. La forza statica genera una quantità definita di carica sulla superficie del materiale piezoelettrico. Operando con elettronica convenzionale e con materiali che non possiedono isolamento perfetto, si determina una continua perdita di carica, la quale conduce infine al continuo decadimento del segnale. Anche l'aumento della temperatura produce la caduta addizionale della resistenza interna, imponendo l'impiego di materiale ad alta resistenza interna per tali condizioni di misura.

Tuttavia sarebbe errato presumere che i sensori piezoelettrici possano essere usati solo per processi molto rapidi o solo in condizioni di esercizio moderate. Ci sono moltissime applicazioni in cui la condizioni di misura sono quasi statiche, sebbene ciò sia sicuramente il campo di pertinenza della tecnologia estensimetrica.

Certamente il modo in cui si usano gli elementi di misura determina chiaramente la differenza fra le applicazioni con estensimetri e quelle con tecnica piezoelettrica. Gli estensimetri vengono installati su strutture che si deformano sotto l'azione della forza. Ne consegue che la maggior parte della forza passa attraverso la struttura. Data la rigidità dei cristalli, la tecnologia di misura piezoelettrica si basa sul fatto che la forza fluisce principalmente attraverso gli elementi di misura. L'alta stabilità dei singoli cristalli permette di realizzare sensori di dimensioni molto compatte.

La minima deformazione del cristallo è la condizione ideale per la buona linearità del sensore, dato che la minima deflessione causa solo variazioni insignificanti del flusso della forza. Combinandosi con la stabilità degli elementi di misura, si ottengono così trasduttori con corrispondente capacità di sovraccarico e di stabilità a lungo termine.

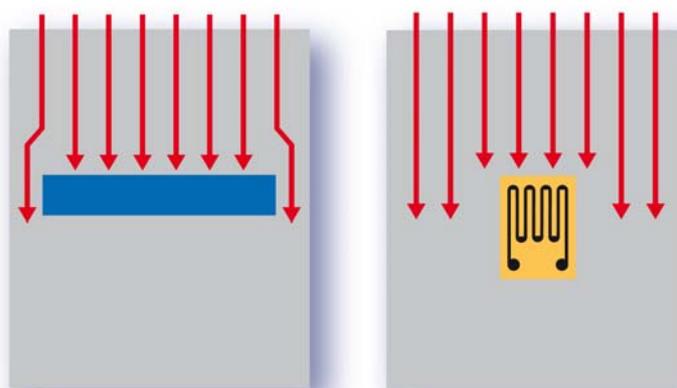


Fig. 4: Differenze del flusso della forza in una struttura con sensore piezoelettrico ed una struttura con estensimetro installato