

I Materiali Piezoelettrici

Un estratto del lavoro di ricerca finale del Corso di Nanotecnologie e materiali funzionali per il design - Politecnico di Milano. Lavoro di Carolina Ferrari, Luigi Mura, Davide Oriani, Nicolò Stivanello, studenti del Corso di Nanotecnologie e materiali funzionali per il design - Politecnico di Milano

Materiali piezoelettrici, dalla natura al laboratorio

I materiali che presentano **caratteristiche piezoelettriche** possono avere origini sia naturali che artificiali. In entrambi i casi il principio fondamentale secondo il quale un materiale presenta caratteristiche piezoelettriche consiste nella posizione decentrata dell'atomo centrale (che può essere Titanio o Zirconio) nella sua struttura cristallina. Infatti un cristallo con struttura simmetrica, se sottoposto ad una pressione, non sviluppa una **carica elettrica** poiché non presenta un dipolo elettrico. Sebbene in natura siano presenti alcuni **minerali piezoelettrici** come il Quarzo o la Tormalina, oggi la maggior parte di materiali piezoelettrici vengono realizzati in laboratorio. Quest'ultimi sono i cosiddetti "**piezo-ceramici**".

Il motivo per cui si preferisce produrre i **materiali piezo-ceramici** sono molteplici, dalla possibilità di realizzare materiali ad hoc per determinate applicazioni, alla continua diminuzione nell'utilizzo di piombo per la creazione degli stessi, alla possibilità di drogare il composto di partenza per migliorarne le caratteristiche meccaniche e molte altre. I materiali naturalmente piezoelettrici, come già annunciato, sono ad esempio il **quarzo**, il minerale più diffuso e conosciuto e le sue applicazioni spaziano dall'orologeria, all'elettronica ad altri svariati campi. Un altro gruppo di minerali piezoelettrici sono le **Tormaline** di cui ne possediamo una tra le varietà più belle in Italia all'isola d'Elba. Un altro minerale largamente usato sono i sali di Rochelle, ricavati trattando le vinacce. Alcuni altri minerali di origine naturale, sono il Litio Tantalato, la Langasite, il Niobato di Litio e gli ossidi di Zinco.

Materiali piezoelettrici dopo polarizzazione

Il **processo di produzione in laboratorio dei piezo-ceramici** prevede una procedura ormai consolidata da vari anni di sperimentazione alle spalle. Il processo inizia con la **calcinazione** ovvero la preparazione del materiale trattando termicamente in aria i suoi precursori. Successivamente si passa alla **macinazione** per rendere di grana uniforme le polveri. Queste subiscono quindi una **formatura** dove viene attribuita la forma pressoché definitiva all'oggetto piezoelettrico. Infine l'agglomerato viene **sinterizzato** ovvero consolidato a caldo o per "vetrificazione", per "sinterizzazione in fase liquida" o per "sinterizzazione allo stato solido". In seguito avviene la **metallizzazione**, la fase in cui avviene la polarizzazione tramite l'applicazione di una scarica elettrica di potenza adeguata tramite gli elettrodi.

I materiali comunemente realizzati con questa procedura sono ad esempio il

Titanato di Bario, che è il **materiale più utilizzato nel campo dell'elettronica**, sostituito in altri campi applicativi dal **Titanato zirconato di Piombo**, commercialmente denominato "PZT", suddiviso in due categorie: "**hard-pzt**" e "**soft-pzt**". Quest'ultimo è un composto altamente efficiente, circa 100 volte superiore al Quarzo, ed è il materiale utilizzato nel meccanismo che genera la scintilla negli accendi-gas da cucina. Un altro materiale a base di Piombo è il Metaniobato di Piombo che, insieme al Titanato zirconato di Piombo, sono i due **piezo-ceramici** dal range di temperatura di utilizzo più performante, infatti possono essere utilizzati da basse temperature, fino ai 250 °C. I punti deboli di questi ultimi due materiali, però, sono **l'elevato livello di porosità e la bassa resistenza meccanica**. Infine vi è la categoria dei **polimeri piezoelettrici**, uno di essi è il PVDF (commercialmente Kynar o Hylar o Sygef). Con questo polimero si realizzano anche i film compositi PVDF-TeFE / PVDF-TrFE.

Componenti piezoelettriche

Le **caratteristiche dei materiali piezoelettrici** portano inevitabilmente all'introduzione di **tre dispositivi noti come Sensori, Trasduttori ed Attuatori** definiti anche "**Sensori (o Trasduttori) ed Attuatori piezoelettrici**". In generale **sensori, trasduttori ed attuatori** sono dispositivi che attuano manipolazioni di "Grandezze Fisiche". Queste grandezze fisiche si dividono in "**Grandezze Fisiche Non Elettriche**" (Temperatura, Luminosità, Peso, Volume, Forza ecc.) e "**Grandezze Elettriche**". Le "Grandezze Elettriche" si possono a loro volta dividere in altri due sottogruppi che sono: "Grandezze Elettriche Facilmente Manipolabili" (Tensione, Corrente) e "Grandezze Elettriche Difficilmente Manipoli" (Resistenza, Capacità, Induttanza ecc).

Per manipolazione o conversione si intende il passaggio da una "Grandezza Fisica non Elettrica" ad una "Grandezze Elettrica Facile da Manipolare" e viceversa. Sensori e Trasduttori convertono una "Grandezza Fisica non Elettrica" in una "Grandezze Elettrica Facile da Manipolare" mentre un Attuatore fa esattamente l'opposto: da "Grandezze Elettrica Facile da Manipolare" si arriva ad una "Grandezza Fisica". Probabilmente per via del fatto che Sensori e Trasduttori operano lo stesso tipo di conversione, spesso l'uno viene confuso con l'altro o vengono intesi come uno stesso dispositivo; in realtà si deve ricordare che non sono proprio la stessa cosa. Un **Trasduttore è un Sensore più sofisticato** che è in grado di convertire, grazie ad un dispositivo chiamato Convertitore (a sua volta collegato in cascata con un Sensore), "Grandezza Elettrica Difficile da Manipolare" in una "Grandezza Elettrica Facile da Manipolare". Le proprietà o caratteristiche che descrivono ciascun sensore e trasduttore prendono il nome di parametri. I principali sono: Campo di misura di ingresso, Offset di uscita, Errore di non linearità, Ripetitività/Precisione, Influenza variabili ambientali, Caratteristica statica, Caratteristica dinamica, Risoluzione, Tempo di risposta, Isteresi.

L'**effetto piezoelettrico** è apprezzabile solo nei materiali che possiedono uno **stato cristallino**, ossia che abbiano una disposizione atomica ordinata e periodica. Questa struttura fa sì che non tutte le direzioni siano statisticamente

equivalenti e perciò i valori di una proprietà fisica non siano costanti in qualunque direzione vengano misurati. Per essere in grado di utilizzare i **crystalli piezoelettrici** in modo corretto è importante caratterizzare mediante un sistema di riferimento (**IEEE Standards**) il comportamento del cristallo. Tenendo come riferimento l'asse z come la direzione di polarizzazione, si hanno in totale tre assi comprese di corrispettive rotazioni. Per esplicitare **le costanti del materiale** che caratterizzano le proprietà di relazione fra campi elettrici e sollecitazioni meccaniche vengono utilizzati due indici. Per esempio nel caso si dovesse leggere d_{31} significherà che **l'unità di campo elettrico** è applicata in direzione 3 con costante di deformazione nella direzione 1. Esistono **tre tipologie di Sensori ed Attuatori**: vi sono quelli sottili ad effetto d_{31} chiamati anche piezo-patches, poi esistono quelli ad alta tensione monolitici e/o sovrapposti (stacked) ad effetto d_{33} e d infine quelli multistrato (CMA Ceramic Multilayer Actuator) a bassa tensione.

Ciò che rende efficiente e funzionale un materiale piezoelettrico è il processo di Polarizzazione che non fa altro che ordinare i domini del cristallo. Il processo di **poling**, che è ad esempio il sistema utilizzato per la produzione di componenti piezoelettrici sintetici, allinea la polarizzazione dei vari domini in modo tale che l'effetto piezoelettrico possa essere sfruttato macroscopicamente ed è effettuato ad una temperatura tale che per cui tale ordine resti tale anche dopo la rimozione del campo elettrico esterno.

Esistono però **condizioni che possono variare** nuovamente l'orientazione della polarizzazione degradando le caratteristiche piezoelettriche del materiale. Diverse possono essere le cause: forti campi elettrici in direzione opposta al campo polarizzante forti campi elettrici alternati, forti stress meccanici, temperature superiori al punto di Curie ed una relazione non lineare fra deformazione e tensione elettrica applicata. Altri casi invece responsabili della depolarizzazione possono causati da variazione di temperatura o di umidità oppure più semplicemente a causa di fattori incontrollabili legati al cosiddetto "**creep**" e cioè all'invecchiamento ed al decadimento strutturale in generale a mano a mano che ci si allontana dal momento in cui è avvenuta la polarizzazione.

Esempi d'applicazione:

Accendini e accendigas: il piezoelettrico è presente anche in oggetti che oggi sono diventati di uso quotidiano, come accendini e accendigas. Infatti, applicando una pressione meccanica sulla superficie di due cilindri piezoelettrici, si provoca un elevato voltaggio agli elettrodi che fanno scaturire una scintilla che, reagendo col gas, crea la fiamma.

Orologi al quarzo: gli orologi al quarzo sono strumenti per la misurazione del tempo che sfruttano la frequenza di risonanza prodotta dai cristalli di quarzo opportunamente tagliati. Infatti, al compressione periodica del materiale determina una variazione altrettanto periodica della tensione.

Pedana piezoelettrica: pavimento piezoelettrico installato nella metropolitana di Tokyo che cattura l'energia prodotta dal passaggio delle persone per far funzionare i sistemi di display e altri dispositivi elettronici.

discoteca: a Rotterdam è nata la prima discoteca “ecologica”, in quanto nel pavimento della pista da ballo sono stati installati dei cristalli piezoelettrici in grado di produrre energia se compressi o fatti vibrare dalle persone che ci ballano sopra. Grazie a questo sistema, la discoteca diventa autosufficiente elettricamente.

Diga: alcuni ricercatori universitari sono riusciti a ricavare energia elettrica sfruttando il piezoelettrico anche nel settore idrico. Dei polimeri ionici, applicati ad una griglia piezoelettrica immersa nel fiume Kiski, riusciranno a generare dal 20 al 40% del fabbisogno energetico della cittadina di Vandergrift.

Racchetta da tennis: le fibre piezoelettriche applicate alla gola della racchetta permettono di migliorare le prestazioni della stessa durante il gioco. Infatti, una volta avvenuto l’impatto con la pallina, le fibre si piegano, generando una carica che convoglia in un chip di silicio integrato nel manico, riducendo le vibrazioni del telaio.

Stampanti a inchiostro: la tecnologia piezoelettrica nelle stampanti riguarda il metodo di eiezione dell’inchiostro. Sotto ogni ugello è presente il canalino dell’inchiostro che viene circondato da un cristallo piezoelettrico. Quando questo riceve l’impulso elettrico, avviene una deformazione del cristallo che comprime il canalino e fa fuoriuscire l’inchiostro.

Bisturi chirurgico: anche in ambito medico il piezoelettrico apporta dei vantaggi non trascurabili, come nel caso di Surgybone, un bisturi che sfrutta la tecnologia basata sulle frequenze ultrasoniche captate dal materiale piezoelettrico in esso contenuto. E’ in grado di agire solamente sui tessuti duri o mineralizzati, lasciando intatti invece quelli molli, ad esempio le gengive.

APPROFONDIMENTO: UTILIZZO DEI MATERIALI PIEZOELETTRICI NEL CAMPO AUDIO/MUSICALE

Microfoni:

L'applicazione dei materiali piezoelettrici nel campo dell'audio legata alla realizzazione dei microfoni è molto diffusa e da tempo sperimentata. Il principale concorrente dei microfoni piezoelettrici sono i microfoni elettromagnetici. I loro campi di applicazione sono complementari, infatti dove i microfoni magnetici trovano terreno favorevole, i microfoni piezoelettrici perdono di senso e, così, all'inverso. I microfoni elettromagnetici trovano principale utilizzo in sale di registrazione indoor dove l'ambiente è protetto e controllato. Infatti essi sono molto fragili data la meccanica più precisa. I microfoni piezoelettrici fanno della robustezza il loro punto di forza principale, infatti trovano principale impiego in registrazioni outdoor, nei concerti all'aperto e per registrare suoni piuttosto forti. La loro robustezza è data dalla meccanica molto più semplice, affidando il funzionamento principalmente a due componenti: la membrana (diaframma) e il cristallo piezoelettrico. Il cristallo piezoelettrico collegato alla membrana, quando questa vibra a causa della pressione sonora esercitata sulla sua superficie, inizia a vibrare producendo una corrente variabile. Questi impulsi elettrici vengono

catturati dagli elettrodi posti sul cristallo piezo e costituiscono il segnale out-put. Questa caratteristica dei microfoni piezoelettrici li rende autonomi da fonti di alimentazioni esterne poiché la corrente prodotta deriva direttamente dal cristallo piezoelettrico. Inoltre la meccanica semplice e compatta permette di ridurre notevolmente le dimensioni permettendo di creare microfoni sempre più compatti; un esempio sono i microfoni clip-on dell'azienda Korg.

Pick-up:

Il pick-up è un dispositivo elettronico che funziona sulla base del meccanismo dei microfoni piezoelettrici. Esistono differenti tipologie di pick-up, utilizzati in differenti applicazioni, ma prevalentemente vengono impiegati nel campo musicale; servono per emettere un segnale digitale traducendo il suono dello strumento (cordofoni) in impulsi elettrici. L'utilizzo di materiali piezoelettrici nella realizzazione di pick-up porta alcuni punti forza interessanti. Innanzitutto sono rimovibili, quindi possono essere applicati su strumenti non amplificati per poi essere rimossi o sostituiti a differenza dei pick-up elettromagnetici classici, incassati nella struttura dello strumento. I pick-up piezoelettrici hanno dimensioni molto ridotte e questo ne permette un posizionamento molto facile trovando la posizione in cui risultano essere più efficienti. Infine un grande punto di forza è l'insensibilità ai campi magnetici prodotti dagli amplificatori e dalle loro sorgenti di alimentazione. Questo evita la produzione del classico fischio causato dall'interferenza magnetica per vicinanza alle apparecchiature.

Fonorivelatori:

Un'altra applicazione dei materiali piezoelettrici nel campo dell'audio si tratta dei fonorivelatori. Queste sono le "testine" dei giradischi, che riproducono la musica leggendo i solchi degli LP. La testina, collegata meccanicamente al braccio del giradischi, contiene anche i collegamenti elettrici necessari per trasferire il segnale generato dalla vibrazione della lamina piezoelettrica alla sezione di pre-amplificazione dell'impianto di riproduzione del disco. A causa di questa conformazione, le testine piezoelettriche devono esercitare una pressione notevole sulla superficie del disco andando a compromettere in breve tempo la leggibilità dello stesso, rovinando i solchi. I punti forza di questo sistema sono invece l'elevata riduzione degli ingombri, realizzando testine molto compatte, e la capacità di generare un segnale elettrico piuttosto elevato. Quest'ultima caratteristica permette di manipolare il segnale out-put senza doverlo prima amplificare.