بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی
دانشکده مهندسی و علم مواد

آلیاژهای حافظه دار و مواد هوشمند

جلسه نهم
(مواد پیزوالکتریک)

دکتر رضا اسلامی فارسانی

مواد پیزوالکتریک

مواد هوشمند موادی با کارکرد مهندسی هستند که با درک محیط و شرایط اطراف خود، نسبت به آن واکنش مناسب نشان دهند. یک یا برخی از ویژگی های این مواد می تواند به کمک محرک های خارجی مانند نیروی مکانیکی، تغییرات حرارتی، میدان الکتریکی یا مغناطیسی و... تغییر کند.

پیزوالکتریک‌ها جزو مواد هوشمند طبقه‌بندی می‌شوند که در پاسخ به محرک های محیطی خارجی (از جمله اعمال نیروی مکانیکی و یا تغییرات حرارتی)، ولتاژ الکتریکی در آنها القا می شود. تولید اختلاف پتانسیل الکتریکی در برخی بلورهای نارسانا نظیر کوارتز تحت کشش یا فشار همان اثر پیزوالکتریک است .

مواد پیزوالکتریک

پیزوالکتریسته توسط پیر و ژاکوب کوری در سال ۱۸۸۰ میلادی کشف شد و از واژه یونانی Piezin به معنای فشار اقتباس شده است. آنها طی مطالعات خود بر روی کریستال های کوارتز، کهربا و نمک راشل متوجه اثر فشار بر تولید بار الکتریکی شدند.

لانگوین در طی جنگ جهانی اول مبدل آلتراسونیک پیزوالکتریکی ساخت. موفقیت او باعث ایجاد موقعیت های استفاده از مواد پیزوالکتریک در کاربردهای زیر آبی شد.

در سال ۱۹۳۵ میلادی، خاصیت پیزوالکتریک پتاسیم دی هیدروژن فسفات (KH_2PO_4) توسط شرر و بوش در زوریخ کشف شد.

مواد پیزوالکتریک

در طی جنگ جهانی دوم تحقیقات در زمینه مواد پیزوالکتریک به وسیله آمریکا، ژاپن و شوروی سابق بسط داده شد.

محدودیت های ساخت این مواد از تجاری شدن آنها جلوگیری می کرد، اما در دهه های ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ میلادی پس از کشف تیتانات باریم ($BaTiO_3$) و تیتانات زیرکونات سرب (PZT) این محدودیت برطرف شد.

ژاپنی ها از سال ۱۹۶۵ میلادی بر روی فرآیندهای تولید و کاربردهای جدید وسایل پیزوالکتریکی متمرکز شدند.

امروزه استفاده از مواد پیزوالکتریک در بسیاری از کاربردهای پزشکی، نظامی، صنعت خودرو و ارتباطات گسترش یافته است.

مواد پیزوالکتریک

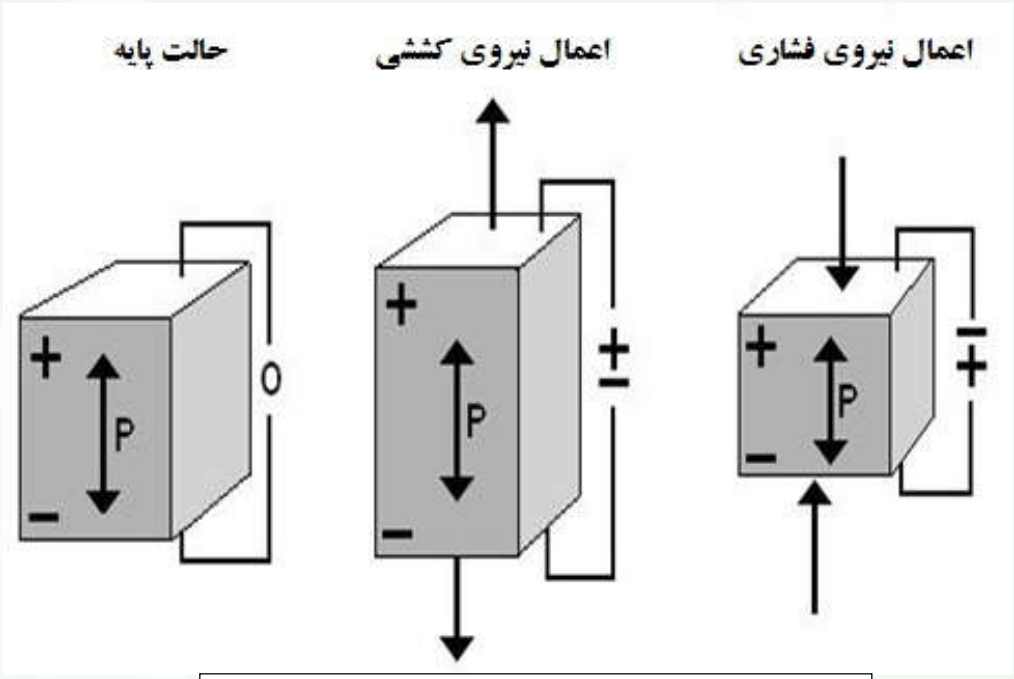
اثر پیزوالکتریک مستقیم و معکوس

وقتی یک ماده پیزوالکتریک تحت تأثیر تغییرات مکانیکی (به صورت انبساط یا انقباض) قرار گیرد، مقداری بار الکتریکی در سطح آن ظاهر می شود. این بار الکتریکی در اثر نامتقارن بودن سلول واحد کریستال است که به تولید میدان الکتریکی و پتانسیل الکتریکی منجر می شود. به این اثر، پیزوالکتریک مستقیم گویند.

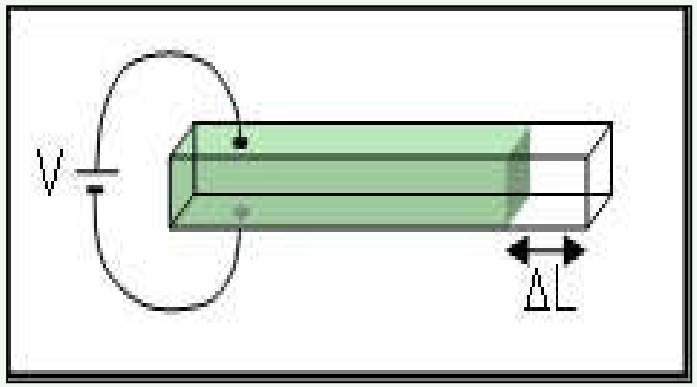
حال اگر در پی اعمال میدان الکتریکی با مقادیر گرانش مکانیکی و تغییرات مکانیکی در ساختار ماده مواجه شویم، به این اثر، پیزوالکتریک معکوس گویند که هر دو اثر کاربردهای متفاوت و فراوان دارند.

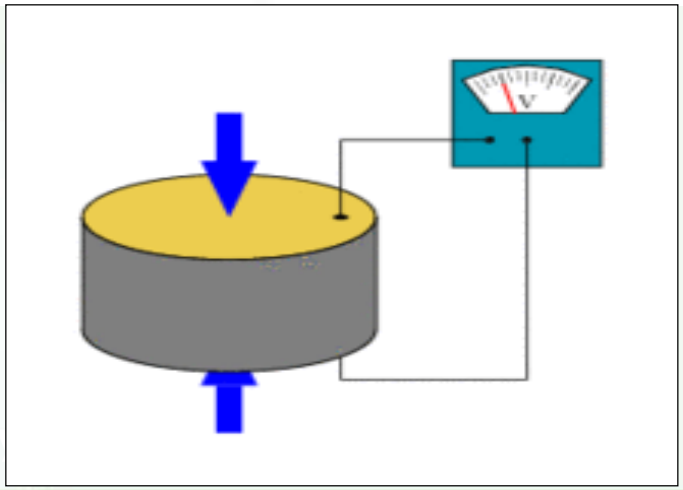
مواد پیزوالکتریک

اثر پیزوالکتریک مستقیم



اثر پیزوالکتریک معکوس





مواد پیزوالکتریک

مکانیزم

اثر پیزوالکتریک با ساختار مواد ارتباط دارد. وقتی مرکز بارهای مثبت ماده از مرکز بارهای منفی فاصله کمی بگیرد، یک دو قطبی حاصل می شود. این پدیده در موادی رخ می دهد که ساختارهای بلوری آنها نامتقارن است.

در برخی مواد با گشتاور دو قطبی دائمی روبرو می شویم که نتیجه ای از عدم تقارن ذاتی در ساختار بلوری است. ولی در مواد دیگر برای ایجاد گشتاور دو قطبی باید کرنش مکانیکی پدید آورد.

مواد پیزوالکتریک

مکانیزم

وقتی فاصله بین بارهای مثبت و منفی بر اثر کرنش مکانیکی تغییر کند، میزان بار الکتریکی ناشی از دو قطبی تغییر کرده و بار روی الکترود نیز تغییر می کند.

این فاصله را همچنین می توان با اعمال میزان بار الکتریکی تغییر داد که به پیدایش کرنش مکانیکی منجر می شود.

البته این اثر در تک بلورها، سرامیک ها و ترکیب های دیگر متفاوت است و هر کدام دارای ویژگی های خاص خود می باشند.

مواد پیزوالکتریک

مکانیزم

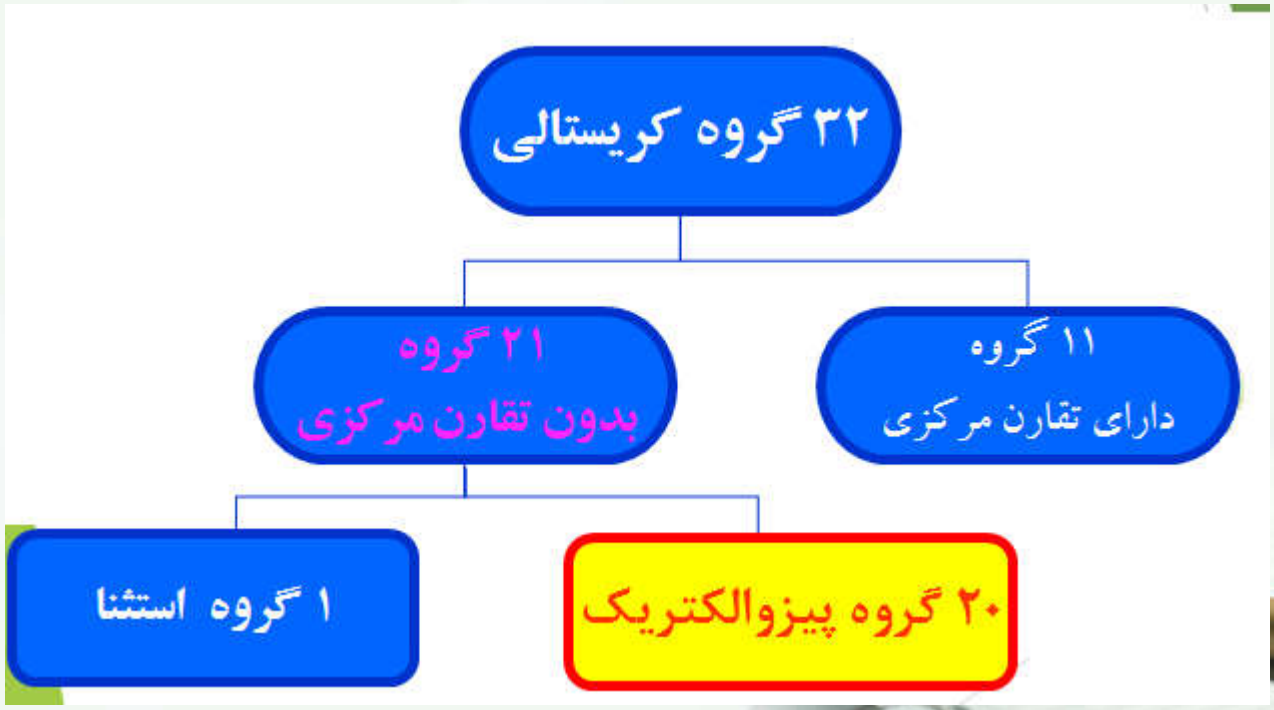
موادی که گشتار دو قطبی دائمی دارند، معمولاً در دماهایی با ساختار تقارنی بالاتر که فاقد گشتاور دو قطبی دائمی است، گذر می کنند. این دما را نقطه کوری می نامند.

وقتی دما به طرف نقطه کوری افزایش می یابد، بشدت اثر پیزوالکتریک افزایش می یابد. اثر پیزوالکتریک در انواع بسیاری از مواد، از جمله تک بلورها، سرامیک ها ، پلیمرها و مواد مرکب دیده می شود.

کوارتز یکی از متداول ترین مواد پیزوالکتریک تک بلور است که پایداری دمایی خوبی دارد .

مواد پیزوالکتریک

رفتار پیزوالکتریک در موادی رخ می دهد که ساختار کریستالی آنها تقارن مرکزی نداشته باشد ← Non-Central symmetric



مواد پیزوالکتریک

راندمان پیزوالکتریک ها

پیزوالکتریک مستقیم

$$K^2 = \frac{\text{نیروی مکانیکی تبدیل شده به جریان الکتریکی}}{\text{نیروی مکانیکی اعمالی}}$$

پیزوالکتریک معکوس

$$K^2 = \frac{\text{میدان الکتریکی تبدیل شده به کرنش مکانیکی}}{\text{شدت میدان الکتریکی اعمالی}}$$

مواد پیزوالکتریک

خاصیت پیزوالکتریک مواد مختلف به سه پارامتر زیر بستگی دارد:

- ✓ فشار مکانیکی اعمالی
- ✓ تقارن کریستال
- ✓ جهت گیری دوقطبی های درون کریستال

مواد پیزوالکتریک

انواع مواد پیزوالکتریک

- ✓ مواد تک کریستال
- ✓ پیزوسرامیک های پلی کریستال
- ✓ مواد پلیمری
- ✓ مواد مرکب

مواد پیزوالکتریک

مواد پیزوالکتریک تک کریستال

- مواد تک کریستال طبیعی مانند:
  - ✓ کواترز (SiO_2)
  - ✓ تورمالین
  - ✓ نمک راشل

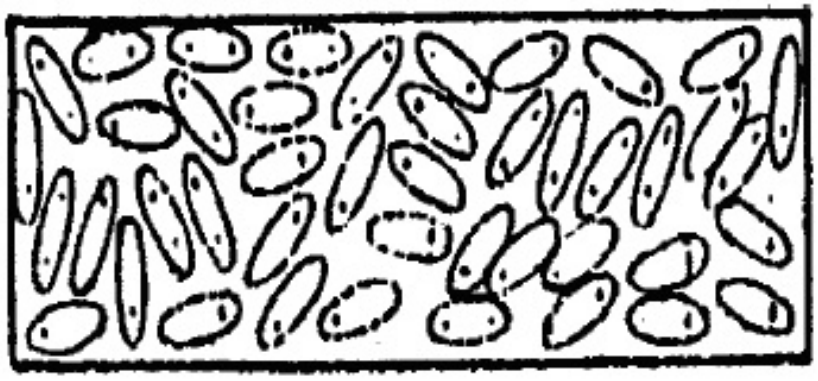
- مواد تک کریستال مصنوعی مانند:
  - ✓ پتاسیم دی هیدروژن فسفات
  - ✓ آمونیوم دی هیدروژن فسفات
  - ✓ سولفات لیتیم ($Li_2SO_4H_2O$)

مواد پیزوالکتریک

پیزوسرامیک ها

پیزوسرامیک ها به دلیل خواص مهندسی مطلوب تقریباً بطور کامل جایگزین کوارتز و مواد تک کریستال مصنوعی (مانند سولفات لیتیم) شده اند.

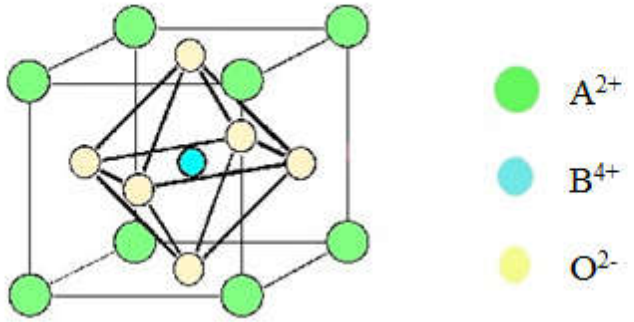
مواد پیزوسرامیک دارای خاصیت فروالکتریک (دو قطبی دائمی) هستند.



مواد پیزوالکتریک

خاصیت فروالکتریک در ساختارهای پروسکایت ABO_3 بیشتر دیده می شود. این ساختار از ترکیب دو اکسید ۲ و ٤ ظرفیتی ایجاد شده است که در آن اکسیژن ها به همراه کاتیون های ۲ ظرفیتی نسبتاً بزرگ (A^{2+}) در موقعیت های FCC قرار می گیرند نظیر:

$PbTiO_3$, $SrTiO_3$, $PbZrO_3$, $CaTiO_3$, $SrZrO_3$



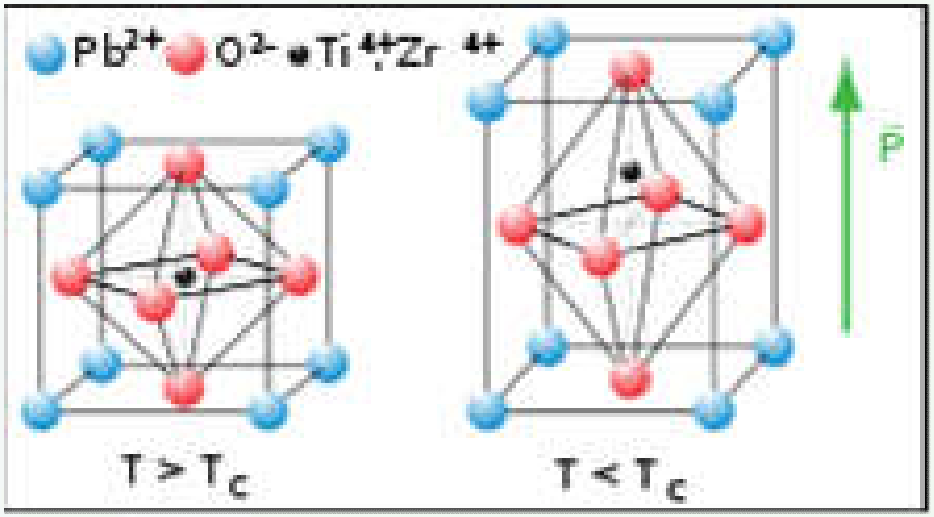
A^{2+} =Ba, Sr, Ca, Cd, Pb, ….

B^{4+} =Ti, Zr, Nb, ….

مواد پیزوالکتریک

نمونه هایی از پیزوسرامیک ها

- تیتانات باریم ($BaTiO_3$): اولین سرامیک کشف شده با اثر پیزو الکتریک است.
- تیتانات زیرکونات سرب ($Pb[Zr_xTi_{1-x}]O_3$ $0\leq x\leq 1$): بیشتر به PZT معروف است و یکی از سرامیک های پرکاربرد امروزی محسوب می شود.
- بیسموت فریت ($BiFeO_3$): بهترین گزینه جایگزین سرامیک های سرب است.



مواد پیزوالکتریک

نمونه هایی از پیزوسرامیک ها

- نیوبیت پتاسیم ($KNbO_3$)
- نیوبیت لیتیم ($LiNbO_3$)
- سدیم نیوبیت ($NaNbO_3$)
- سدیم تنگستات (Na_2WO_3)
- $Ba_2NaNb_5O_5$
- $Pb_2KNb_5O_{15}$
- سدیم پتاسیم نیوبیت (NaKNb): در سال ۲۰۰٤ کشف شده و بسیار شبیه به PZT عمل می کند.

مواد پیزوالکتریک

مواد پلیمری

شماری از مواد آلی نیز دارای خاصیت پیزوالکتریک هستند که از آن جمله می توان به چوب، ابریشم، پشم و استخوان اشاره کرد.

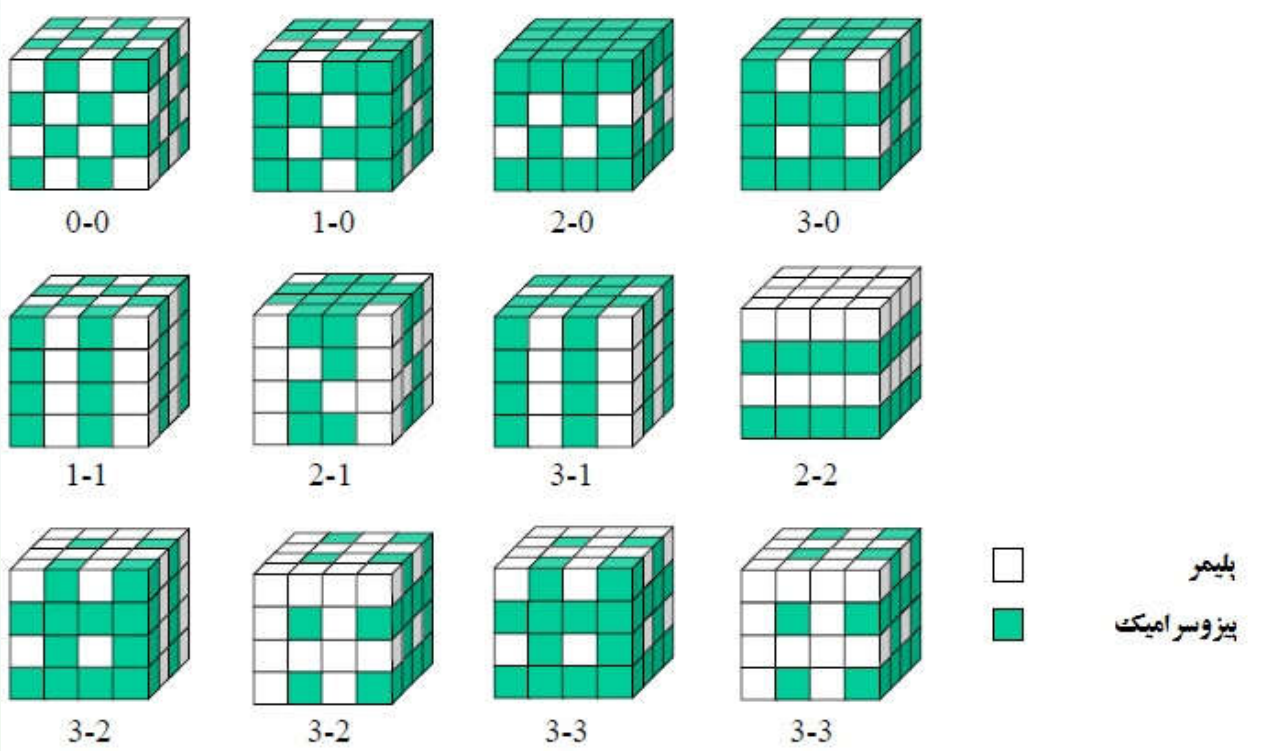
مواد پلیمری پیزوالکتریک شامل:

- پلی وینیلی دین فلور (Polyinylidene Fluoride-PVDF)
- پلی وینیل فلور (Poly Vinyl Fluoride)
- پلی اکریلو نیترات (Polyacrylonitrite)
- پلی متیل متاکریلات (Poly methyl methacrylate)

مواد پیزوالکتریک

مواد کامپوزیتی

مواد پیزوالکتریک کامپوزیتی مخلوطی از پیزوسرامیک ها و مواد پلیمری (غیر پیزوالکتریک) هستند.



Company Logo

مواد پیزوالکتریک

مقایسه خواص مواد پیزوالکتریک

نام پیزوالکتریک/ پارامتر	PZT	تیتانات باریم	نیوبات سرب	کوارتز	نیوبات لیتیم
سرعت صوت (v) m/s	۴۰۰۰	۵۱۰۰	۳۳۰۰	۵۷۴۰	۷۳۲۰
آمپدانس صوتی (Z) 10^6*Kg/m^{2}s	۳۰	۲۷	۲۰.۵	۱۵.۲	۳۴
ثابت دی الکتریک (K)	۵۰۰-۶۰۰۰	۱۲۵۰- ۱۰۰۰۰	۲۲۵	۴.۶	۲۹
فاکتور الکترومکانیکی	۰.۶-۰.۷	۰.۴۵	۰.۴	۰.۱	۰.۲
مدول پیزوالکتریک (d)	۱۵۰-۵۹۱	۱۲۵-۱۹۰	۸۵	۲.۳	۶
ثابت تغییر شکل پیزوالکتریک (H)	۱.۸-۴.۶	۱.۱-۱.۶	۱.۹	۴.۹	۶.۷

مواد پیزوالکتریک

کاربردهای پیزوالکتریک

۱- مبدل انرژی نوسانی به انرژی الکتریکی (کنترل تهیج یا فرکانس، شتاب سنج و ...

۲- مبدل انرژی صوتی به انرژی الکتریکی و برعکس (در دیسک های صوتی، گرامافون های قدیمی ، میکروفن ، بلندگو ، زنگ اخبار و ...)

۳- در تولید ولتاژ و جرقه با ولتاژ بالا (جرقه)

٤- استفاده از نانوذرات پیزوالکتریک (نانوذرات سرامیک های خاص) در ایجاد خواص الکتریکی یک سطح .

٥- دریافت و انتقال امواج التراسونیک (پروب و کنترل امواج اولتراسونیک)

٦- در تولید بیوسنسورهای پزشکی

۷- در تولید میکروربات های ریز و موتورهای در مقیاس کوچک

مواد پیزوالکتریک

کاربردهای پیزوالکتریک

سنسور نیرو

سنسور فشار

دریافت و انتقال امواج التراسونیک
(پروب وکنترل امواج اولتراسونیک)

موتور پیزوالکتریک

موتور پیزوالکتریک یا پیزو موتور، نوعی از موتورهای الکتریکی است که بر پایه تغییرشکل ماده‌ی پیزوالکتریک هنگامی که در میدان الکتریکی قرار می گیرد، کار می کند.

در پیزو موتور از اثر پیزوالکتریک معکوس به منظور تبدیل انرژی الکتریکی به ارتعاشات آکوستیک و تولید حرکت خطی یا دورانی که به ساختار موتور مربوط است، استفاده می شود.

در این مکانیزم حرکتی بر اثر کشیدگی های پی در پی و انتقال این کشیدگی به قسمت دیگر حرکت بوجود می آید. این تکنیک حرکتی شبیه به حرکت کرم ابریشم است .