بسم الله الرّحمن الرّحيم

دانشکده علوم پایه
گروه فیزیک

عنوان:

سنتز و بررسی خواص ساختاری و اپتیکی نانوپودر پیزوالکتریک PZT

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته فیزیک گرایش حالت جامد

اساتید راهنما :
دکتر سید محمد حسینی- دکتر احمد کمپانی

استاد مشاور:
دکتر ناصر شاه طهماسبی

نگارش:
غلامحسین خرّمی

بهمن ۱۳۸۷

تقدیم به خانواد ۀ عزیزم به

ویژه

پدر مهربان و مادر فداکارم

تشکر و قدردانی

نهایت علم به ساحل عشق است، عاشق شوید تا از سرچشمه های علم ومعرفت جرعه ای بنوشید که تمام هستی بر عشق بنا شده است. پس به ذره ذره هستی عشق بورزید تا از موهبت الهی بهره مند شوید.

استیون هاوکینگ

اکنون که به یاری خداوند این تحقیق به پایان رسیده، بر خود می دانم از اساتید راهنمای بزرگوارم آقایان دکتر حسینی و دکتر کمپانی و استاد مشاورم آقای دکتر شاه طهماسبی به پاس زحمات بی شائبه شان در طی انجام این تحقیق، سپاسگزاری نمایم. همچنین از اساتید گرانمایه آقایان دکتر عطاران و دکتر عربشاهی که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند نهایت تشکر را دارم.

از دوستان خوبم در آزمایشگاه الکتروسرامیک، به خصوص آقایان قاسمی فرد، ابراهیم زاده ابریشمی و رهنما کمال تشکر را دارم. در پایان از دوست ارجمندم آقای مجیدیان و سایر عزیزانی که مرا در مراحل مختلف پایان نامه یاری رساندند ، سپاسگزاری می کنم. برای همه این مهربانان از پیشگاه پروردگار ، سلامت و سعادت آرزمندم.

چکیده:

در این تحقیق، نانوپودر سرامیکی $Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$ به ازای $x = 0/48$ ، در نزدیکی مرز مورفوتروپیک، به دو روش همرسوبی و احتراق ژل تهیه شدند. تاثیر دمای تکلیس بر ساختار و ویژگی‌های نانوپودرهای PZT تهیه شده به روش احتراق ژل بررسی شد. پارامترهای اپتیکی از جمله ضریب شکست، قسمت حقیقی تابع دی‌الکتریک و فونون‌های اپتیکی، در گستره عددموج $400 Cm^{-1}$ تا $4000 Cm^{-1}$، به کمک روابط کرامرز- کرونیگ محاسبه شدند. گاف اپتیکی نمونه‌ها با استفاده از نمودار طیف جذبی مشخص گردید. بررسی‌ها نشان دادند که در دمای تکلیس 600^oC نمونه‌های تهیه شده در روش احتراق ژل دارای ساختار تک فاز پروسکایت هستند. برای این نمونه‌ها مقدار ضریب شکست تقریبا برابر ۲ و گاف اپتیکی ۳eV بدست آمد. همچنین با تهیه قرص‌هایی از پودرهای نمونه، اثر دمای تفجوشی بر چگالی و ثابت دی‌الکتریک بررسی گردید. بیشینه چگالی نمونه‌ها و نیز ثابت دی‌الکتریک در دمای تفجوشی 1200^oC مشاهده شد.

کلید واژه: PZT، همرسوبی، احتراق ژل، کرامرز-کرونیگ، تفجوشی.

فهرست مطالب

فصل اول: سرامیک و کاربرد آن

۱-۱ تاریخچه..... ۲
۱-۲ انواع سرامیک‌ها ۳
۱-۳ کاربرد سرامیک‌ها..... ۳
۱-٤ الکتروسرامیک‌ها..... ٤
۱-۵ پیزوالکتریک‌ها..... ۹

فصل دوم: معرفی اثرپیزوالکتریسیته و مواد پیزوالکتریک

مقدمه..... ۱۳
۲-۱ اثرمستقیم و معکوس پیزوالکتریسیته..... ۱۳
۲-۲ روابط حاکم بر پیزوالکتریک‌ها..... ۱٦
۲-۳ انواع مواد پیزوالکتریک..... ۲۰

فصل سوم: معرفی PZT ها

مقدمه..... ۲۲
۳-۱ ساختار پروسکایت..... ۲۲
۳-۲ معرفی برخی از پروسکایت‌ها..... ۲٤
۳-۳ فازهای مختلف پروسکایت..... ۲٤
۳-٤ بررسی ساختارهای PZT..... ۲٦
۳-۵ بررسی نمودار فاز PZT..... ۲۸
۳-٦ کاربردهای PZT..... ۳۰

فصل چهارم: نانوذرات و روش‌های ساخت آن

مقدمه..... ۳٤
٤-۱ کاربردهای نانوذرات..... ۳۵
٤-۲ نانوذرات سرامیکی..... ۳٦
٤-۲-۱ کاربردهای نانوذرات سرامیکی ۳٦
٤-۳ روش‌های سنتز نانوذرات..... ۳٦
٤-۳-۱ سل- ژل..... ۳۷
٤-۳-۲ روش شیمیایی سل- ژل..... ۳۸
٤-۳-۳ مزایا و محدودیت‌های روش سل- ژل..... ٤۰

فصل پنجم: کارهای آزمایشگاهی، سنتز نانوپودر PZT

مقدمه..... ٤۲
۵-۱ ساخت نانوپودر PZT..... ٤۳
۵-۱-۱ روش احتراق ژل..... ٤۳
۵-۱-۲ روش همرسوبی..... ٤٦
۵-۱-۳ سنتز نانوپودر PZT به روش احتراق ژل در دماهای کلسینه مختلف..... ٤۷

فصل ششم: نتایج اندازه‌گیری و مشخصه‌یابی نمونه‌ها

مقدمه..... ۵۰
٦-۱ بررسی تاثیر روش ساخت بر ویژگی‌های نانوپودر PZT..... ۵۰
٦-۱-۱ نتایج مربوط به تاثیر روش ساخت..... ۵٦
٦-۲ بررسی اثر دمای تکلیس بر ویژگی‌های نانوپودر PZT..... ۵٦
٦-۳ بررسی اثر دمای تفجوشی بر برخی از پارامترها..... ۷۰
٦-٤ جمع‌بندی نتایج..... ۷۲

٦-٥ پیشنهادها..... ٧٤

پیوست ١: روابط کرامرز- کرونیگ

فصل اول

سرامیک و کاربرد آن

۱-۱ تاریخچه

بشر همواره در طول زندگی وابسته به طبیعت بوده و سعی کرده است از آن برای بهبود زندگی خویش بهره‌مند شود. خاک رس پخته اولین محصول صنعتی است که انسان قرن‌ها قبل از میلاد مسیح به‌ساختن آن توفیق یافت و به‌تدریج موفق شد از خاک رس تا حدودی ابزارهای مورد نیاز خویش را بسازد. دلیل استفاده از خاک رس این بود که این ماده پس از پخت خواصی مثل سنگ پیدا می‌کرد، و ساختن اشیاء گوناگون با آن ساده‌تر بود. دوره ما، عصر پیشرفت سرامیک‌ها است. چرا که این مواد به‌دلیل خواص گوناگون خود توان آن را دارند تا پاسخگوی پیچیده‌ترین نیازهای امروز ما باشند. بدون کوشش مداوم و دقیق بشر در شناخت ساختار، خواص و روش‌های تولید این مواد، ایجاد چنین فناوری خیره‌کننده‌ای امکان پذیر نبود. دراین فصل به‌اختصار پیدایش سرامیک‌های سنتی و نیز تاریخچه تکامل، کشف و توسعه سرامیک‌های پیشرفته به‌اختصار بیان می‌شود.

به‌مواد (معمولاً جامد)ی که بخش عمده‌ی تشکیل دهنده‌ی آن‌ها مواد غیرفلزی و غیرآلی باشند، سرامیک گفته می‌شود. این تعریف نه‌تنها سفالینه‌ها، پرسلان(چینی)، دیرگدازها، محصولات رسی سازه‌ای، ساینده‌ها، سیمان و شیشه را در بر می‌گیرد، بلکه شامل آهنرباهای سرامیکی، لعاب‌ها، فروالکتریک‌ها، سوخت‌های هسته‌ای و ... نیز می‌شود. برخی آغاز استفاده و ساخت سرامیک‌ها را در حدود ۷۰۰۰ سال ق.م. می‌دانند، در حالی که برخی دیگر قدمت آن را تا ۱۵۰۰۰ سال ق.م نیز دانسته‌اند. ولی در کل اکثریت تاریخ‌نگاران بر ۱۰۰۰۰ سال ق.م اتفاق نظر دارند.

نام سرامیک از کلمه یونانی کراموس[۱] به معنای ماده آتش دیده، خاک رس کوزه گری یا اشیاء پخته شده از خاک رس استخراج شده است که به‌طور ساده‌تر به سفالینه تعبیر می‌شود. سرامیک‌ها موادی هستند که دارای سختی‌های متفاوتند، شکننده‌اند، در مقابل حرارت و فرسایش مقاومند و از خاک نسوز یا مواد معدنی دیگر بخصوص اکسیدهای فلزی ساخته می‌شوند.این عنصر غیرفلزی در بیشتر موارد اکسیژن است[۱]. سرامیک‌ها از لحاظ کاربرد به چهار شکل طبقه‌بندی می‌شوند: سرامیک‌های سنتی(سیلیکاتی)، سرامیک‌های مدرن(مهندسی)، سرامیک‌های اکسیدی و سرامیک‌های غیراکسیدی، این سرامیک‌ها را می‌توان از لحاظ ساختار فیزیکی به دو طبقه سرامیک‌های مدرن مونولیتیک (یکپارچه) و سرامیک‌های مدرن کامپوزیتی طبقه‌بندی کرد.

۱-۲ انواع سرامیک‌ها

- **سرامیک‌های سنتی** : این سرامیک‌ها همان سرامیک‌های سیلیکاتی هستند. مثل کاشی، سفال، چینی، شیشه، گچ، سیمان.
- **سرامیک‌های مدرن** : این فرآورده‌ها عمدتاً از مواد اولیه‌ی خالص و سنتزی ساخته می‌شوند. این نوع سرامیک‌ها اکثراً در ارتباط با صنایع دیگر مطرح شده‌اند.
- **سرامیک‌های اکسیدی** : برخی از پرکاربردترین این نوع سرامیک‌ها عبارت‌اند از: برلیا (BeO) ، تیتانیا (TiO_2)، آلومینا (Al_2O_3)، زیرکونیا (ZrO_2)، منیزیا (MgO).
- **سرامیک‌های غیراکسیدی**: این نوع سرامیک‌ها با توجه به ترکیب‌شان طبقه‌بندی می‌شوند که برخی از پرکاربردترین آن‌ها در زیر آمده‌اند: نیتریدها مانند: BN• TiN، GaN و کاربیدها مانند: SiC، TiC، WC.

سرامیک‌ها نسبت به مواد دیگر دارای مزایایی از قبیل: دیرگدازی بالا، سختی زیاد، مقاومت به خوردگی بالا و استحکام فشاری بالا می‌باشند.

۱-۳ کاربردسرامیک‌ها

در زیر کاربردهای عمده سرامیک‌ها همراه با چند نمونه از مواد رایج آن آورده شده‌است:

---

[۱] Kramoos

- **الکتریکی و مغناطیسی**- عایق‌های ولتاژ بالا ($AlN-Al_2O_3$)، دی‌الکتریک ($BaTiO_3$)، پیزوالکتریک ($ZnO-SiO_2$)، پیروالکتریک ($Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$)، رسانای یونی (Al_2O_3)، مغناطیس نرم ($Zn_{1-x}Mn_xFe_2O_4$)، مغناطیس سخت ($SrO-6Fe_2O_3$)، نیمرسانا ($ZnO-GaN-SnO_2$) و ابررسانا($Ba_2Cu_3LaO_{7-\delta}$).
- **سختی بالا**- ابزار ساینده، ابزار برشی و ابزار سنگ‌زنی ($TiN-Al_2O_3$) و مقاومت مکانیکی ($SiC-Si_3N_4$).
- **نوری**- فلورسانس (Y_2O_3)، ترانسلوسانس(نیمه‌شفاف) (SnO_2)، منحرف کنندهٔ نوری (PLZT)، بازتاب نوری (TiN)، بازتاب مادون قرمز (SnO_2) و انتقال دهندهٔ نور (SiO_2).
- **حرارتی**- پایداری حرارتی (ThO_2)، عایق حرارتی ($CaO-nSiO_2$) و رسانای حرارتی (AlN-C)!.
- **فناوری هسته‌ای**- سوخت‌های هسته‌ای سرامیکی، مواد کاهش‌دهنده‌ی انرژی نوترون و مواد کنترل کننده‌ی فعالیت راکتور.
- **شیمیایی و بیوشیمیایی**- پروتزهای استخوانی، زیرلایه (SiO_2-TiO_2).

۱-٤ الکتروسرامیک‌ها[۲]

درحدود دهه ۱۹٤۰ و قبل ازجنگ جهانی دوم انجام تحقیقات در زمینه سرامیک‌ها رو به فزونی گذاشت. احتیاج مبرم به خازن‌های با ثابت دی‌الکتریک(K) بالا سبب شد که تورنائرو سولومن[۳] در یک کارمنتشر نشده، $BaTiO_3$ را به عنوان یک نوع جدید خازن سرامیکی با K>۱۰۰ وارد کردند. در اواخر جنگ جهانی دوم انتشار مطالب در این زمینه به صورت کامل و همگانی آغاز و معلوم گردید که کار همزمان روی $BaTiO_3$ به‌عنوان ماده‌ای با ثابت دی‌الکتریک بالا، توسط چند کشورعمدتاً آمریکا، انگلستان، شوروی و ژاپن دنبال شده است[۲]. این آغازی برای سرعت گرفتن توسعه و ساخت الکتروسرامیک‌ها بود. در چند دهه اخیر ورود الکتروسرامیک‌ها به‌عرصه فناوری امکان افزایش تراکم مدارهای مجتمع را فراهم کرده است. از انواع الکتروسرامیک‌ها که در زندگی روزمره انسان بسیار پرکاربرد هستند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

وریستورها[٤]- در بعضی از دستگاه‌ها به قطعه‌ای نیاز است که مقاومتش در ولتاژ پایین زیاد باشد و در ولتاژ بالا کم باشد، وریستورها دارای این‌گونه مشخصه‌ای هستند. کاربرد این سرامیک‌ها در خیلی از موارد به عنوان محافظ مدارات می‌باشد. وقتی که یک ولتاژ زیاد و ناگهانی به مدار اعمال می‌شود، این قطعه در مقابل تغییر ناگهانی و زیاد ولتاژ مدار را حفظ می‌کند. از این سرامیک‌ها در مدارهای

---

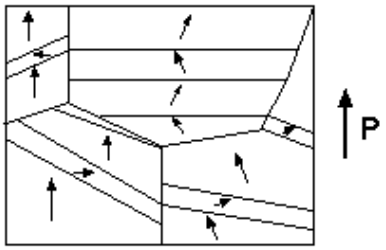
[۲] Electroceramics
[۳] Turnaero and Solomon
[٤] Veristors

مجتمع و ترانزیستورها که نسبت به‌تغییر ناگهانی ولتاژ آسیب پذیرند، برای محافظت استفاده می‌شود. همچنین نمونه‌ای از کاربردهایش را می‌توان در تلفن و جرقه‌زن به وفور مشاهده کرد.

ترمیستورها[۵] – به موادی گفته می‌شود که مقاومتشان به دما وابسته می‌باشد و سه نوع از ترمیستورهای سرامیکی که به‌طور وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرند عبارتند از: ترمیستورهای دمای بحرانی، ترمیستورهای NTC[۶] ، ترمیستورهای PTC[۷].

فریت ها[۸] – گروه بزرگی از سرامیک‌ها هستند که دارای خواص مغناطیسی‌اند. ماده اساسی در آن-ها Fe_2O_3 یا اکسید مگنتیت آهن است. تمامی این مواد به صورت اکسید بوده و از خود یک القای مغناطیسی نشان می‌دهند، حتی اگر در میدان مغناطیسی قرار نگیرند. القاء مغناطیسی خود به‌خودی قوی، مقاومت ویژه الکتریکی بالا و ضرایب اتلاف پایین مهمترین ویژگی‌های این دسته از سرامیک‌ها هستند.

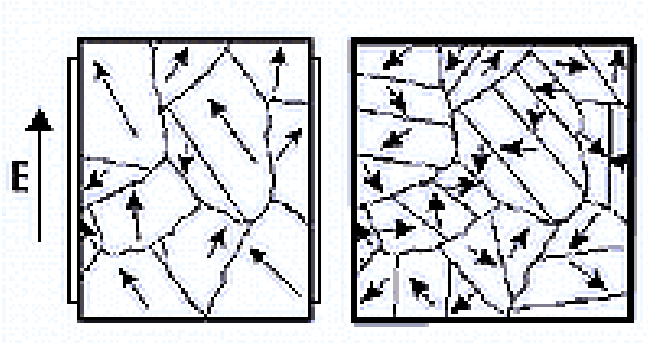
فروالکتریک ها[۹] – به‌دلیل اهمیت این مواد در ادامه به‌طور کامل به بررسی آن‌ها می‌پردازیم. سرامیک‌های فروالکتریک در اوایل دهه ۱۹٤۰ به صورت محرمانه و در آستانه جنگ جهانی دوم با کشف پدیده فروالکتریسیته به عنوان علتی برای بالا بودن غیرعادی ثابت دی‌الکتریک در سرامیک خازن‌های باریم تیتانات متولد شد. یک بلور فروالکتریک دارای گشتاور دو قطبی الکتریکی است حتی اگر میدان الکتریکی به آن اعمال نشده باشد (شکل۱-۱). معنی این عبارت آن است که در حالت فروالکتریک مراکز بارهای مثبت و منفی بر یکدیگر منطبق نیستند، بنابراین وقتی آن را در میدان الکتریکی قرار دهیم یک گشتاور الکتریکی در بلور القاء خواهد شد. در دماهای بالاتر از یک دمای خاص که دمای کوری نامیده می‌شود، ماهیت فروالکتریک بلور از بین می‌رود. در مواد فروالکتریک نقطه کوری به دمایی اطلاق می‌شود که در آن ساختار ماده به سمت تقارن بیشتر میل می‌کند و ماده خاصیت فروالکتریک خود را از دست می‌دهد.



شکل ۱-۱
جهت‌گیری حوزه‌ها در سرامیک فروالکتریک.

[۵] Thermistor
[۶] Negative Temperature Coefficient
[۷] Positive Temperature Coefficient
[۸] Ferrites
[۹] Ferroelectrics

در این سرامیک‌ها، می‌توان با اعمال یک میدان الکتریکی قوی و در دمای بالا (البته پایین‌تر از دمای کوری ماده) همه گشتاورهای دوقطبی الکتریکی را به نظم درآورد، این عمل قطبی‌کردن نامیده می‌شود(شکل ۱-۲). حالت قطبیده ماده فروالکتریک نسبتاً پایدار است و حالتی است که می‌تواند برای مدت زیادی دوام داشته باشد. این امر ممکن است تا حدی شگفت‌آور باشد زیرا یک جسم قطبیده تحت تاثیر میدان واقطبنده خود قرار می‌گیرد بسته به شکل هندسی جسم، این میدان واقطبنده ممکن است نسبتا بزرگ نیز باشد. برای جسمی که به شکل بره تخت و در امتداد عمود بر وجوهش قطبیده شده است، میدان واقطبیده بزرگترین مقدار را دارد. در واقع پایداری زیاد یک فروالکتریک قطبیده به این سبب است که بر روی آن هیچ میدان واقطبنده عمل نمی‌کند. برای قطبی‌کردن یک ماده فروالکتریک آن را میان دو صفحه رسانای موازی قرار می‌دهیم و سپس به این صفحات اختلاف پتانسیل نسبتاً زیادی اعمال می‌کنیم. بار آزاد صفحه‌ها تا حد زیادی توسط بار قطبشی سطحی خنثی خواهد شد.



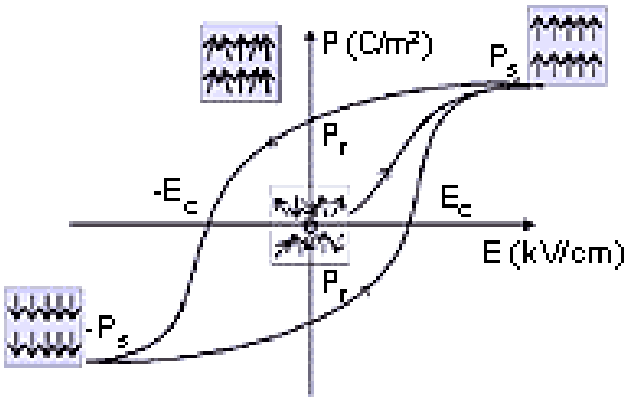
شکل ۱-۲
چگونگی جهت‌گیری حوزه‌ها قبل و بعد از قطبی‌کردن در سرامیک فروالکتریک.

حال اگر صفحات موازی را با اتصال کوتاه به هم وصل کنیم، باز هم حالت قطبیده فروالکتریک از لحاظ انرژی مناسب است، به طوری که بار آزاد در جای خود باقی می‌ماند، باز هم سبب خنثی کردن بار قطبشی خواهد شد. حال اگر یک اختلاف پتانسیل زیاد و با علامت مخالف میان صفحات خازن برقرار کنیم، جسم جهت قطبش خودش را تغییر می‌دهد و بار آزاد با علامت مخالف از مدار خارج به طرف صفحات به مقدار کافی جاری می‌شود، یعنی به مقداری که نه تنها بار آزاد موجود در آنجا، بلکه بار قطبشی جدید را نیز خنثی می‌کند. از این‌رو بره فروالکتریک می‌تواند به منزله عنصر اصلی یک دستگاه حافظه به‌کار رود. این بره فروالکتریک قادر است $\pm$ یا $\mp$ را در خود حفظ کند. عدد $\pm$ یا $\mp$ را با اعمال یک اختلاف پتانسیل میان دو سر نمونه می‌توان خواند. اگر میدان اعمال شده در جهت قطبش اولیه باشد، باری از مدار خارجی عبور نخواهد کرد، اگر میدان در جهت خلاف قطبش اولیه باشد، مقداری بار الکتریکی از مدار خارجی عبور خواهد کرد. این اساس کار فروالکتریک‌ها در حافظه‌های غیرفرّار است[۳]. قطبش فروالکتریک با حلقه پسماند[۱۰] مشخص می‌شود که برای یک ماده فروالکتریک نوعی در شکل ۱-۳ نشان داده شده است. شباهت بین این حلقه

[۱۰] Hysteresis Loop

و آنچه برای مواد فرومغناطیس[۱۱]، هنگامی که شدت میدان مغناطیسی را بر حسب القاء مغناطیسی رسم می‌کنیم، سبب گزینش اصطلاح فروالکتریک شده است و مبین کاهش سریع ثابت دی‌الکتریک با افزایش دما است. نقاط مهم این حلقه همان‌طور که در شکل نشان داده شد عبارت است از: قطبش اشباع[۱۲](P_s)، قطبش مانده[۱۳]($\pm P_r$) و میدان وادارنده[۱۴]($\pm E_c$).

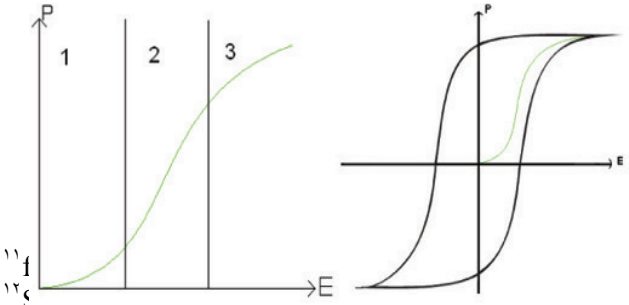
در $E = o$ جهت‌گیری گشتاورها جهت ارجهی ندارد و به صورت کاتوره‌ای قرارگرفتن، در این حالت قطبش صفر است. با افزایش شدت میدان اعمالی تمام گشتاورها با میدان هم جهت شده و قطبش به بیشینه حد خود رسیده است(P_s). اگر پس از این میدان را کاهش دهیم تا به صفر برسد، هنوز مقداری قطبش در ماده به‌جای مانده است که به قطبش مانده معروف است (P_r).



شکل ۱- ۳

حلقه پسماند یک ماده فروالکتریک.

شکل ۱-٤ فرایندهای قطبیدگی عمده را در نواحی مختلف منحنی پسماند نشان می‌دهد. ناحیه۱ جابجایی برگشت‌پذیر مرزها را نشان می‌دهد. ناحیه۲ جابجایی برگشت ناپذیر مرزها و ناحیه۳ دوران قطبش را نشان می‌دهند. خصوصیات ویژه فروالکتریک آثار مفید زیادی به دنبال دارد، که می‌توان به روش‌های متفاوت از آن استفاده کرد: ازجمله کاربردهای تبدیلی و کنترل مدارات الکتریکی یا الکترونیکی. ممکن است از حلقه پسماند در ساخت قطعات، تغییرات تناوبی ظرفیت یک خازن فروالکتریک، ماهیت غیرخطی ظرفیت خازن، وابستگی دمایی خصوصیات فروالکتریک (آثار پیروالکتریک)، وابستگی دمایی ثابت دی‌الکتریک و آثار الکترواپتیک که ارتباط بین خصوصیات الکتریکی و اپتیکی است، استفاده شود.



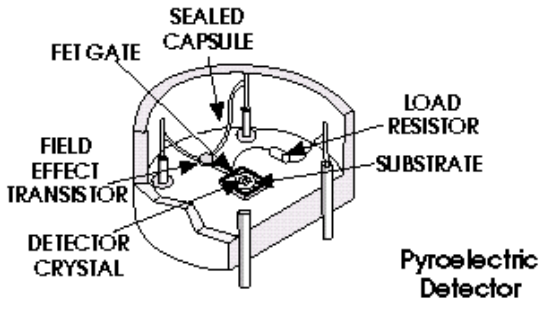
شکل ۱- ٤

فرایندهای قطبیدگی عمده در نواحی مختلف.

[۱۱] f
[۱۲] S
[۱۳] Remanent Polarization
[۱۴] Coercive Force

سرامیک‌های فروالکتریک به دلیل داشتن خـواص متمـایز از قبیـل: ثابـت دی‌الکتریـک بـالا، اتلاف دی‌الکتریکی نسبتاً کم، مقاومت الکتریکی بالا، غیرحساس بودن به رطوبت و سـختی متوسـط دارای کاربردهای فراوانی هستند، که از آن میان می‌توان از خازن‌های با ثابت دی‌الکتریک بالا، مبدل-های پیزوالکتریک، قطعات با ثابت دمایی مثبت (PTC)، اولتراسونیک‌های پیزوالکتریکـی، فیلترهـای ارتباطات، قطعات محافظ امنیتی پیروالکتریکی، مولدهای تشخیص پزشکی، بلندگوها، زنگ اخبارهـا، جرقه‌زن‌ها و حافظه‌های لایه نازک فروالکتریکی را نام برد.

پیروالکتریـک هـا[١٥]- اثـر پیروالکتریـسیته بـه القـاء بـار الکتریکـی آزاد در اثـر تغییـر دمـا گفتـه مـی‌شـود. پدیـده پیروالکتریـسته ٣١٥ سـال قبـل از مـیلاد و توسـط تئوفراسـتوس[١٦] کـشف شـد. وی ایـن اثـر را بـا توجـه بـه رفتـار عجیبـی کـه بلـور طبیعـی نمـک راشـل[١٧]، وقتی که در مجاورت ذرات خاکستر گرم شود، از خود نشان می دهـد، دریافـت. امـا نتوانـست آن‌را توجیه کند. بلورترمالین از دیگر موادی است که خواص مشابهی را از خود نـشان مـی‌دهـد. خـواص الکتریکی این بلور در سال ١٧٥٦ توسط اپینوس[١٨] توصیف شد. وی با گرم کردن ایـن بلـور مـشاهده نمود که بارهای مخالف در دو سر آن جمع می‌شود. کلمه پیروالکتریسیته اولین بار توسط بروسـتر در سال ١٨٢٤ برای چنین اثری، که در بلورها مشاهده شده بود، انتخاب شد. پیرو از کلمه فایر[١٩] به معنی آتش گرفته شده است. اولین نظریه قابل قبول برای پدیده پیروالکتریک را لرد کلوین[٢٠] ارایه کرد. وی در سال ١٨٧٧ پدیده معکوس پیروالکتریسیته را با نام اثر الکتروکالریک بیان کرد. اثر پیروالکتریـک در تمام مواد فروالکتریک دیده می‌شود ولی عکس آن صادق نیـست. از ایـن نـوع سـرامیک‌هـا اسـتفاده زیادی به ویژه برای کنترل دقیق دما می‌شود. پیروالکتریک‌ها کاربردهای زیادی در صـنعت دارنـد کـه یکی از آن‌ها آشکارسازهای طیف مادون قرمز است. موادی کـه بـه عنـوان آشکارسـاز پیروالکتریـک مادون قرمز به‌کار می‌روند باید دارای ضریب پیروالکتریک بالا و ثابت دی‌الکتریک پایینی باشند.



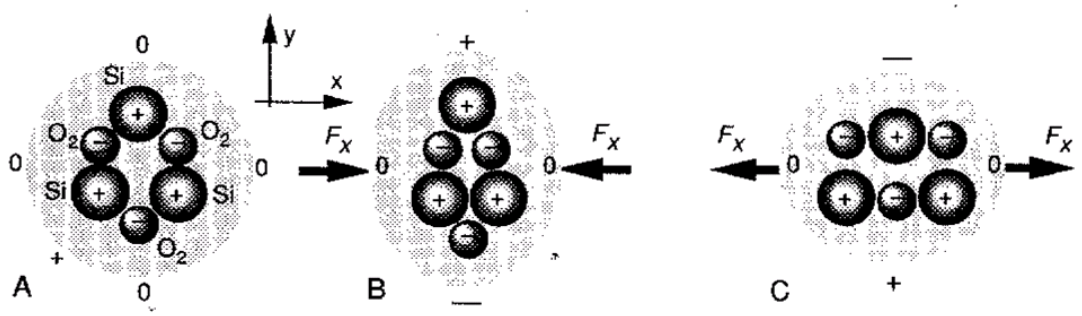
شکل ١-٥
طرحی از یک آشکارساز پیروالکتریک.

[١٥] Pyroelectrics
[١٦] Teofrastoos
[١٧] Rochelle Salt
[١٨] Epinus
[١٩] Fire
[٢٠] Lord Kelvin

امروزه این مواد به‌خاطر کارایی، توان بالا و قیمت مناسب به‌عنوان یکی از مهمترین آشکارسازهای مادون قرمز به حساب می‌آیند، این آشکارسازها در اغلب سیستم‌های امنیتی مدرن به‌کار برده می‌شوند.

۱-۵ پیزوالکتریک‌ها[۲۱]

پدیده پیزوالکتریک در سال ۱۸۸۰ توسط پیرکوری و جی کوری[۲۲] در خلال مطالعه اثرات فشار بر روی بلورهایی از قبیل کوارتز[۲۳]، ترمالین[۲۴] و نمک راشل[۲۵] جهت تولید بار الکتریکی، کشف گردید. آن‌ها نتایجشان را در یادداشتی این‌طور ارائه کردند: بلورها یک یا چند محور دارند که انتهاهای آن‌ها بی‌شباهت است و به آن‌ها بلورهای نصفه وجهی اریب شکل گفته می‌شود. آن‌ها خواص فیزیکی ویژه‌ای دارند، به‌طوری‌که اگر تحت تغییرات دمایی قرار بگیرند دو قطب مخالف در انتهای محورهای آن‌ها ظاهر می‌شود. این پدیده با نام پیزوالکتریک شناخته می‌شود. آن‌ها نشان دادند که ورقه‌های نازکی از بلور کوارتز، در صورتی که به شکل خاصی برش داده شوند، در اثر اعمال فشار مکانیکی یک پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌کنند. با اعمال فشار به کوارتز و بلورهای نظیر آن، بارهای مثبت و منفی در روی سطح آن‌ها تولید خواهند شد (شکل ۱-٦). مقدار این بارها متناسب با فشار خارجی وارد شده می‌باشد و هنگامی که فشار قطع شود بارها ناپدید می‌شوند. آن‌ها همچنین نشان دادند که اگر به بلورهای یاد شده ولتاژی اعمال شود ابعاد نمونه تغییر خواهد کرد.



شکل ۱-٦ بلور کوارتز تحت تاثیر کشش و تنش خارجی.

البته کولن[۲۶] اولین کسی بود که در سال ۱۸۲۵ به القا الکتریسته توسط اعمال فشار اشاره کرد. در ۱۸۸۱ واژه پیزوالکتریسیته توسط هنکل[۲۷] برای این پدیده پیشنهاد شد. در همین سال لیپمن[۲۸] اثر پیزوالکتریک معکوس را از اصول ترمودینامیک استنتاج کرد، به‌طوری که تغییر موقعیت بار سطحی

[۲۱] Peizoelectrics
[۲۲] Jacques and Pierre Curie
[۲۳] Quartz
[۲۴] Tourmaline
[۲۵] Rochelle Salt
[۲۶] Coulomb
[۲۷] Henkel
[۲۸] Lippmann

بلور تغییر شکل مکانیکی در آن ایجاد می‌کند. یک سال بعد در سال ۱۸۸۲ برادران کوری[۲۹] این پدیده را به‌طور تجربی مشاهده کردند. لرد کلوین[۳۰] در سال ۱۸۹۳ زمینه واقعی برای فهمیدن مفهوم پیزوالکتریک را فراهم کرد. او مدلی ارائه کرد که فهم پدیده را به شکل بهتری بیان می‌کرد. او اشاره کرد که متراکم سازی یک بلور پیزوالکتریک، نتیجه القاء بار است و همچنین اضافه یا کم کردن بار سطحی بلور تغییر شکل مکانیکی ایجاد خواهد نمود. ویگت[۳۱] در سال ۱۸۹٤ معادلات حاکم بر رفتار خطی بلورهای پیزوالکتریک را به‌صورت تانسور بیان کرد. اما به علت پیچیدگی دانش مربوطه به این پدیده رشد کاربردی این مواد تا چند سال به تعویق افتاد، تا اینکه لانجوین[۳۲] وهمکارانش در اواخر قرن نوزدهم موفق به ساخت مبدل‌های پیزوالکتریک شدند[٤،٥،٦]. امروزه این مواد از پرکاربردترین مواد در زندگی روزمره بشر به‌شمار می‌آید. موادی که فشار را به انرژی الکتریکی و انرژی الکتریکی را به انرژی حرکتی تبدیل می‌کنند در موارد مختلفی از جمله در مبدل‌های پیزوالکتریک استفاده می‌شوند. حسگرهای کوچک، کم خرج، حساس و کارآمد با رشد قابل توجهی امروزه در صنعت خودرو اهمیت یافته‌اند. مدل‌های جدید خودرو بین ۱۸ تا ۳۰ حسگر دارند که شامل‌حسگرهای فشار برای کنترل میزان فشار وارده به صندلی‌ها، حسگرهای دما برای کنترل میزان گرما و شرایط جوی، حسگرهای جریان برای ورودی هوای خودرو و حسگرهای شتاب برای سیستم ضدقفل ترمزی می‌باشند. در صنایع پیشرفته نیز به‌طور وسیعی از این‌حسگرها استفاده می‌شود: مثلاً صنایع نفت، غذایی، آشامیدنی و دارویی همگی از این حسگرها برای کنترل سطح جریان سیال استفاده می‌کنند. حسگرهای جریان سیال و سطح و مبدل‌های دوپلر، تخلیه اتوماتیک مخازن نفت و خطوط لوله را کنترل می‌کنند. صنایع دیگر از حسگرها برای تست‌های غیر مخرب استفاده می‌کنند: مانند تست‌های غیر مخرب تیرهای فولادی، خطوط راه‌آهن و بدنه هواپیما. در بخش مراقبت‌های پزشکی نیز از پیزوسرامیک‌ها در مبدل تصویرگرهای تشخیصی و مانیتورهای تشخیص جنین استفاده می‌شود که هزینه پایین و ایمنی بالا نشان کارایی این فراورده است. کاربردهای دیگر، شامل تفنگ‌های لیزری برای درمان آب مروارید چشم، چاقوهای کوچک جراحی و کالبدشکافی، مته‌ها و پاک‌کننده‌های دندانی، پمپ‌های IV و پمپ‌های قلب می‌شود. مبدل‌های کوچک که در مجاری خون جهت ثبت تغییرات متناوب ضربان قلب بیمار قرار داده می‌شوند نیز از حسگرهای پیزوالکتریک ساخته می‌شوند. تولیدکنندگان فراورده‌های مصرفی نیز از استفاده کنندگان حسگرها هستند. در ماشین‌های لباسشویی از سه حسگر برای کنترل میزان بار و میزان سطح آب و کنترل چرخش استفاده می‌شود. حسگرهای پیروالکتریکی در فرهای مایکروویو شرایط غذا را کنترل می‌کنند و در یخچال‌ها از حسگرهای برفک استفاده می‌شود. به علاوه از آن‌ها در ترانسفورماتورهای اولتراسونیک در مرطوب کننده‌ها، فندک‌های اجاق گاز، زنگ خطر آژیرهای خطر، دستگاه ناقل صدا در گیتارهای اکوستیک و ضبط صوت‌های دارای دیسک فشرده نیز استفاده می‌شود.

---

[۲۹] Curie
[۳۰] Lord Kelvin
[۳۱] Voigt
[۳۲] Longevin

یک استفاده مهم سرامیک پیزوالکتریک در ایجاد و دریافت کـردن امـواج صـوتی اسـت. گـستره کاربرد این مواد از ابزارها و تجهیزات اولتراسونیکی برای عمق‌یابی در دریا و پیدا کردن محل تجمـع ماهی‌ها تا تجهیزات ردیاب زیردریایی‌ها می‌باشد. مـثلاً در نـوک زیردریـایی Trident از ۵ تـن مـواد پیزوسرامیک که همگی به‌صورت دیسک‌هایی با قطر ٤ اینچ و ضـخامت ۰/۲۵ ایـنچ هـستند اسـتفاده شده است که این تکنولوژی، زیردریایی را به حرکت سریع، آرام و بی‌صدا در میان آب قادر می‌سازد. کاربردهای دیگر اثر پیزوالکترسیته در برشکاری و جوشکاری و عیب‌یـابی در داخـل قطعـات فلـزی صنعتی است[۷].

فصل دوم

معرفی اثر پیزوالکتریسیته

و

مواد پیزوالکتریک