



دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد فیزیک گرایش حالت جامد

عنوان:

سنتر و بررسی اثر ناخالصی Ba بر روی خواص ساختاری و فروالکتریکی
نانو پودرهای PZT تهیه شده به روش سل-ژل احتراقی

اساتید راهنما:

دکتر محمد بهدانی

دکتر سید محمد حسینی

استاد مشاور:

دکتر ناصر تجبر

نگارش:

حسین پایدار

شهریور ۱۳۹۰

تشکر و قدردانی

اکنون که به یاری خداوند این تحقیق به پایان رسیده، بر خود می‌دانم از اساتید راهنمای محترم، جناب آقای دکتر محمد بهدانی و مرحوم جناب آقای دکتر سید محمد حسینی، همچنین از استاد مشاور ارجمندم جناب آقای دکتر ناصر تجبر به پاس زحمات بی‌شائبه‌شان در طی انجام این تحقیق، سپاسگزاری نمایم. همچنین از اعضای محترم هیات داوران جناب آقای دکتر احمد کمپانی و جناب آقای دکتر رضایی به خاطر توجه و حضورشان در جلسه دفاع و ارائه راهنمایی‌های مفیدشان سپاسگزارم. همواره سلامتی و توفیق روزافزون را برایشان آرزومندم.

از دوستان خوبم در آزمایشگاه الکتروسرامیک آقایان عوض زاده، مدرسی، نعمتی‌فر، آقایان کمال تشکر را دارم. همچنین از سایر دوستانم که در مراحل مختلف تحصیل و پایان‌نامه یاری رساندند، سپاسگزاری می‌کنم.

چکیده:

در این پژوهش، نانو پودر سرامیک PBZT با روش سل-ژل احتراقی تهیه گردید. برای این منظور از پیش مواد آلی فلزی و نمک‌های فلزی به عنوان مواد آغازین، استفاده شد. اثر دمای تکلیس بر روی ساختار نمونه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. ساختار پودرهای PBZT حاصل با استفاده از پراش پرتو X (XRD) مشخصه‌یابی شدند. نتایج نشان می‌دهد که دمای بهینه تکلیس برای تهیه نانو پودر سرامیک PBZT با این روش 700°C می‌باشد. در مرحله بعد از این پودرها نمونه‌های قرصی شکل تهیه گردید که در دمای 1250°C تفجوشی شدند. که پس از بررسی تصاویر SEM حاصل از این نمونه‌ها مشخص شد که با افزایش دمای تفجوشی دانه‌ها رشد یافته‌اند.

نمودار ثابت دی‌الکتریک بر حسب دما نشان می‌دهد با افزایش Ba دمای کوری نمونه‌ها (T_c) که مربوط به بیشینه‌ی منحنی است، کاهش می‌یابد. نمودار معکوس ثابت دی‌الکتریک بر حسب دما درستی قانون کوری-وایس را در این نمونه‌ها نشان می‌دهد. حلقه‌ی پسماند نمونه‌ها در دماهای مختلف رسم و مشخص شد که با افزایش دما حلقه‌ی پسماند ابتدا بزرگتر شده، اما با افزایش بیشتر دما باریک‌تر می‌شود. همچنین با افزایش مقدار Ba حلقه‌ی پسماند باریک‌تر می‌شود.

لغات کلیدی: نانو پودر؛ سل-ژل احتراقی؛ تفجوشی؛ PBZT

فهرست مطالب

فصل اول: تاریخچه، کشف و توسعه‌ی سرامیک‌های پیزوالکتریک

- ۱-۱ تاریخچه ۲
- ۲-۱ انواع سرامیک‌ها ۳
- ۳-۱ کاربرد سرامیک‌ها ۳
- ۴-۱ الکتروسرامیک‌ها ۴
- ۵-۱ پیزوالکتریک‌ها ۶
- ۱-۵-۱ اثر مستقیم و معکوس پیزوالکتریک ۷

فصل دوم: مروری مختصر بر محیط‌های دی‌الکتریک و روابط آن‌ها

- مقدمه ۱۱
- ۱-۲ قطبش ۱۲
- ۱-۱-۲ بردار قطبش الکتریکی \vec{P} ۱۲
- ۲-۱-۲ انواع قطبش پذیری ۱۳
- ۲-۱-۲ انواع قطبش پذیری ۱۳
- ۳-۱-۲ چگالی‌های بار قطبش ۱۵
- ۲-۲ رابطه‌ی بین \vec{E} و \vec{P} ۱۶
- ۳-۲ بردار جابجائی الکتریکی \vec{D} ۱۶
- ۴-۲ رابطه بین میدان‌های برداری \vec{E} و \vec{P} و \vec{D} ۱۷
- ۵-۲ ثابت دی‌الکتریک ϵ_r ۱۸
- ۶-۲ استقامت دی‌الکتریک ۱۹
- ۷-۲ نظریه میکروسکوپی ثابت دی‌الکتریک ۱۹
- ۱-۷-۲ میدان داخلی ۲۰

۲۱	۸-۲ وابستگی ثابت دی‌الکتریک به بسامد
۲۱	۱-۸-۲ رابطه بین ضریب شکست و ثابت دی‌الکتریک
۲۲	۲-۸-۲ جذب تشدید
۲۴	۳-۸-۲ اتلاف انرژی

فصل سوم: معرفی پدیده‌های فروالکتریسته و پیزوالکتریسته

۲۷	مقدمه
۲۸	۱-۳ بررسی تقارنی
۳۱	۲-۳ خواص سرامیک‌های فروالکتریک
۳۱	۱-۲-۳ قطبش خودبه‌خودی و گذار فاز
۳۴	۲-۲-۳ حوزه‌های فروالکتریک و حلقه پسماند
۳۶	۳-۲-۳ فاجعه‌ی قطبشی
۳۷	۳-۳ ساختار پروسکایت
۳۹	۱-۳-۳ معرفی برخی از پروسکایت‌ها
۴۰	۲-۳-۳ فازهای مختلف پروسکایت
۴۱	۴-۳ بررسی ساختارهای $\text{Pb}(\text{Zr}_{1-x}\text{Ti}_x)\text{O}_3$ (PZT)

فصل چهارم: روش‌های ساخت نانوذرات استتزنانوپودر PBZT

۴۴	مقدمه
۴۵	۱-۴ تقسیم بندی نانوذرات
۴۶	۱-۱-۴ کاربردهای نانوذرات سرامیکی
۴۷	۲-۴ روش‌های سنتز نانو ذرات
۴۷	۳-۴ سل - ژل
۴۸	۱-۳-۴ روش شیمیایی سل - ژل
۵۱	۲-۳-۴ مزایا و محدودیت‌های روش سل - ژل
۵۱	۴-۴ ساخت نانوپودر $\text{Pb}_{1-x}\text{Ba}_x(\text{Zr}_{0.52}\text{Ti}_{0.48})\text{O}_3$ به روش احتراق ژل

فصل پنجم: روش اندازه‌گیری پارامترها

مقدمه.....	۵۷
۱-۵ تعریف ثابت دی‌الکتریک و اتلاف دی‌الکتریک برحسب کمیات قابل	
اندازه‌گیری.....	۵۸
۲-۵ اندازه‌گیری ثابت دی‌الکتریک و اتلاف دی‌الکتریک.....	۶۱
۳-۵ اندازه‌گیری قطبش خودبه‌خودی، قطبش باقی مانده، میدان وادارنده.....	۶۳

فصل ششم: نتایج اندازه‌گیری‌ها

مقدمه.....	۶۷
۱-۶ مشخصه‌یابی ساختاری.....	۶۸
۱-۱-۶ بررسی تصاویر SEM.....	۷۳
۲-۱-۶ آنالیز EDX.....	۷۵
۲-۶ اندازه‌گیری مقاومت و ظرفیت نمونه در دماهای مختلف.....	۷۸
۳-۶ حلقه‌های پسماند.....	۸۲
۱-۳-۶ حلقه‌ی پسماند در دماهای مختلف.....	۸۳
۲-۳-۶ اثر ناخالصی Ba بر حلقه پسماند.....	۸۵
۴-۶ جمع‌بندی نتایج.....	۸۶
مراجع.....	۸۸

فصل اول

تاریخچه، کشف و توسعه‌ی سرامیک‌های پیزوالکتریک

۱-۱ تاریخچه

بشر بهره‌گیری از مواد خام را جهت ساخت ابزار و ادوات با پیدایش آتش گسترش داد. 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. در این 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، فروالکترونیک‌ها، سوخت‌های هسته‌ای نیز می‌شود. برخی آغاز 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 کوزه‌گری 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

^۱ Kramoos

غیراکسیدی، این سرامیک‌ها را می‌توان از لحاظ ساختار فیزیکی به دو طبقه سرامیک‌های مدرن مونولیتیک (یکپارچه) و سرامیک‌های مدرن کامپوزیتی طبقه‌بندی کرد.

۲-۱ انواع سرامیک‌ها

۱- سرامیک‌های سنتی: این سرامیک‌ها همان سرامیک‌های سیلیکاتی هستند. مثل کاشی، سفال، چینی، شیشه، گچ، سیمان.

۲- سرامیک‌های مدرن: این فرآورده‌ها عمدتاً از مواد اولیه‌ی خالص و سنتزی ساخته می‌شوند. این نوع سرامیک‌ها اکثراً در ارتباط با صنایع دیگر مطرح شده‌اند.

۳- سرامیک‌های اکسیدی: برخی از پرکاربردترین این نوع سرامیک‌ها عبارت‌اند از: برلیا (BeO)، تیتانیا (TiO_2)، آلومینا (Al_2O_3)، زیرکونیا (ZrO_2)، منیزیا (MgO).

۴- سرامیک‌های غیراکسیدی: این نوع سرامیک‌ها با توجه به ترکیب‌شان طبقه‌بندی می‌شوند که برخی از پرکاربردترین آن‌ها در زیر آمده‌اند: نیتريد‌ها مانند: GaN ، TiN ، BN و کاربیدها مانند: WC ، TiC ، SiC سرامیک‌ها نسبت به مواد دیگر دارای مزایایی از قبیل: دیرگدازی بالا، سختی زیاد، مقاومت به خوردگی بالا و استحکام فشاری بالا می‌باشند.

۳-۱ کاربرد سرامیک‌ها

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

الکتريکی و مغناطیسی - عایق‌های ولتاژ بالا ($\text{AlN-Al}_2\text{O}_3$)، دی‌الکتريک (BaTiO_3)، پیزوالکتريک (ZnO-SiO_2)، پیروالکتريک ($\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$)، رسانای یونی (Al_2O_3)، مغناطیس نرم ($\text{Zn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Fe}_2\text{O}_4$)، مغناطیس سخت ($\text{SrO-6Fe}_2\text{O}_3$)، نیمرسانا (ZnO-GaN-SnO_2) و ابررسانا ($\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{LaO}_{\delta-\nu}$).

سختی بالا - ابزار ساینده، ابزار برشی و ابزار سنگ‌زنی ($\text{TiN-Al}_2\text{O}_3$) و مقاومت مکانیکی ($\text{SiC-Si}_3\text{N}_4$).

نوری - فلورسانس (Y_2O_3)، ترانسلسوانس (نیمه‌شفاف) (SnO_2)، منحرف کننده نوری (PLZT).

بازتاب نوری (TiN)، بازتاب مادون قرمز (SnO_2) و انتقال دهنده نوری (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 کنترل‌کننده‌ی فعالیت راکتور.

شیمیایی و بیوشیمیایی - پروتزه‌های استخوانی، زیرلایه (SiO_۲-TiO_۲).

۱-۴ الکتروسرامیک‌ها^۲

در حدود دهه ۱۹۴۰ و قبل از جنگ 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_۳ را به عنوان یک نوع جدید خازن سرامیکی با $K > 100$ 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_۳ به عنوان ماده‌ای با ثابت دی‌الکتریک بالا، توسط چند کشور عمدتاً 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 به عرصه 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^۴ - 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 مجتمع و ترانزیستورها که نسبت به تغییر 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.

² Electroceramics

³ Turnaero and Solomon

⁴ Veristors

⁵ Thermistor

⁶ Negative Temperature Coefficient

⁷ Positive Temperature Coefficient

فريت ها^۸ - گروه بزرگی از سرامیک‌ها هستند که دارای خواص مغناطیسی‌اند. ماده اساسی در آن‌ها 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 به خودی قوی، مقاومت ویژه الکتریکی بالا و ضرایب اتلاف پایین مهمترین ویژگی‌های این دسته از سرامیک‌ها هستند.

فروالکتريک ها^۹ - سرامیک‌های فروالکتريک در اوایل دهه ۱۹۴۰ به صورت محرمانه و در آستانه جنگ جهانی دوم با کشف پدیده فروالکتريسيته به عنوان علتی برای بالا بودن غیرعادی ثابت دی‌الکتريک در سرامیک خازن‌های باریم تیتانات متولد شد. یک بلور فروالکتريک دارای گشتاور دو قطبی الکتریکی است حتی اگر میدان الکتریکی به آن اعمال نشده باشد. معنی این عبارت آن است که در حالت فروالکتريک 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 فروالکتريک بلور از بین می‌رود. در مواد فروالکتريک نقطه کوری به دمایی اطلاق می‌شود که در آن ساختار ماده به سمت تقارن بیشتر میل می‌کند و ماده خاصیت فروالکتريک خود را از دست می‌دهد.

پيروالکتريک ها^{۱۰} - اثر پيروالکتريسيته به القاء بار الکتریکی آزاد در اثر تغییر دما گفته می‌شود. پدیده پيروالکتريسيته ۳۱۵ سال قبل از میلاد و توسط تئوفراستوس^{۱۱} کشف شد. وی این اثر را با توجه به رفتار عجیبی که بلور طبیعی نمک راشل^{۱۲}، وقتی که در مجاورت ذرات خاکستر گرم شود، از خود نشان می‌دهد، دریافت. اما نتوانست آن را توجیه کند. بلورترمالین از دیگر موادی است که خواص مشابهی را از خود نشان می‌دهد. خواص الکتریکی این بلور در سال ۱۷۵۶ توسط اپینوس^{۱۳} توصیف شد. وی با گرم کردن این بلور مشاهده نمود که بارهای مخالف در دو سر آن جمع می‌شود. کلمه پيروالکتريسيته اولین بار توسط بروستر در سال ۱۸۲۴ برای چنین اثری، که در بلورها مشاهده شده بود، انتخاب شد. پيرو از کلمه فایر^{۱۴} به معنی

⁸ Ferrites

⁹ Ferroelectrics

¹⁰ Pyroelectrics

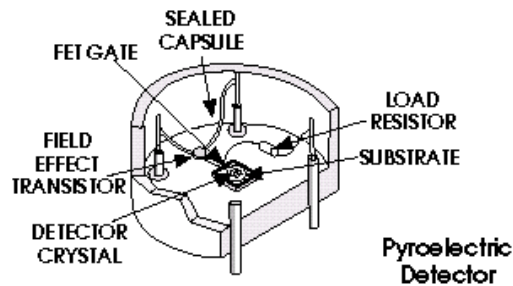
¹¹ Teofrastoos

¹² Rochelle Salt

¹³ Epinus

¹⁴ Fire

آتش گرفته شده است. اولین نظریه قابل قبول برای پدیده پیروالکتریک را لرد کلوین^{۱۵} ارایه کرد. وی در سال ۱۸۷۷ پدیده معکوس پیروالکتریسته را با نام اثر الکتروکالریک بیان کرد. اثر پیروالکتریک در تمام مواد فروالکتریک دیده می شود ولی عکس آن صادق نیست. از این نوع سرامیکها استفاده زیادی به ویژه برای کنترل دقیق دما می شود. پیروالکتریکها کاربردهای زیادی در صنعت دارند که یکی از آنها آشکارسازهای طیف مادون قرمز است. موادی که به عنوان آشکارساز پیروالکتریک مادون قرمز به کار می روند باید دارای ضریب پیروالکتریک بالا و ثابت دی الکتریک پایینی باشند.



شکل ۱-۱

طرحی از یک آشکارساز پیروالکتریک.

۵-۱ پیزوالکتریکها

پدیده پیزوالکتریک در سال ۱۸۸۰ توسط پیرکوری و جی کوری^{۱۶} در خلال مطالعه اثرات فشار بر روی بلورهای از قبیل کوارتز^{۱۷}، ترمالین^{۱۸} و نمک راشل^{۱۹} جهت تولید بار الکتریکی، کشف گردید. آنها نتایجشان را در یادداشتی این طور ارائه کردند: بلورها یک یا چند محور دارند که انتهای آنها بی شباهت است و به آنها بلورهای نصفه و جهی اریب شکل گفته می شود. آنها خواص فیزیکی ویژه ای دارند، به طوری که اگر تحت تاثیر استرس مکانیکی قرار بگیرند بارهای مخالف در انتهای محورهای آنها ظاهر می شود. این پدیده با نام پیزوالکتریک شناخته می شود. آنها نشان دادند که ورقه های نازکی از بلور کوارتز، در صورتی که به شکل خاصی برش داده شوند، در اثر اعمال فشار مکانیکی یک پتانسیل الکتریکی ایجاد می کنند. با اعمال فشار به کوارتز و بلورهای نظیر آن، بارهای مثبت و منفی در روی سطح آنها تولید خواهند شد (شکل ۱-۲). مقدار این بارها متناسب با فشار

¹⁵ Lord Kelvin

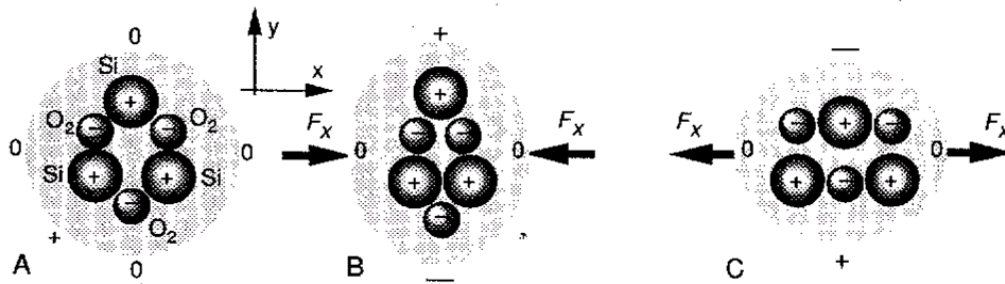
¹⁶ Jacques and Pierre Curie

¹⁷ Quartz

¹⁸ Tourmaline

¹⁹ Rochelle Salt

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 ۱-۲ بلور کوارتز تحت تاثیر کشش و تنش خارجی.

اثر پیزوالکتریک در بسیاری از مواد سرامیکی از جمله تک‌بلورها، بس بلورها و مواد مرکب دیده می‌شود. اثر پیزوالکتریک در ابتدا در اکسیدهای نسوز بس بلور در تیتانات باریم (BT) کشف و در دهه ۱۹۵۰ در محلول جامد تیتانات زیرکونات سرب (PZT) دیده شد.

۱-۵-۱ اثر مستقیم و معکوس پیزوالکتریک

وقتی ماده‌ای پیزوالکتریک تحت تأثیر تنش مکانیکی (به صورت انبساط یا انقباض) قرار می‌گیرد، مقداری بارالکتریکی در سطوح آن ظاهر می‌شود. این بار الکتریکی به تولید میدان الکتریکی و پتانسیل متناظر با آن می‌انجامد. بر عکس در پی اعمال میدان الکتریکی، با مقادیری تنش مکانیکی روبرو می‌شویم. اثر اول به اثر مستقیم و اثر دوم به اثر معکوس موسوم است. جهت‌گیری، قطبیت و مقادیر بار و پتانسیل ایجاد شده اثر مستقیم به جهت و بزرگی نیروی اعمال شده نیست و به بعضی جهت‌های بلور شناختی ماده بستگی دارد. وقتی نیروی مکانیکی حذف می‌شود بار تولید شده نیز از بین می‌رود و زمانی که جهت تنش وارونه شود قطبیت نیز عوض می‌شود. بدین ترتیب در پاسخ به کرنش نوسان کننده با ولتاژی نوسانی رو به رو می‌شویم که جهت و اندازه‌ی تنش ایجاد شده از طریق معکوس نیز بستگی به جهت و اندازه‌ی میدان الکتریکی اعمال شده دارد. شدت اثرهای مستقیم و معکوس در هر ماده‌ای با ثابت پیزوالکتریکی آن (d) مشخص می‌شود. جنبه دیگر شدت این اثر برای هر ماده، ثابت جفت شدگی الکترومکانیکی (K) است. مربع این ثابت برابر است با کسری از انرژی مکانیکی که می‌تواند به انرژی الکتریکی تبدیل شود.

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، کم‌خرج، حساس و کارآمد با رشد قابل توجهی امروزه در صنعت خودرو اهمیت یافته‌اند. مدل‌های جدید خودرو بین ۱۸ تا ۳۰ حسگر دارند که شامل حسگرهای 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 این حسگرها 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 نشان‌کارایی این فرآورده است. کاربردهای دیگر، شامل تفنگ‌های لیزری برای درمان آب مروارید چشم، چاقوهای کوچک جراحی و کالبدشکافی، مته‌ها و پاک‌کننده‌های دندان، 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 فرآورده‌های 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 پیزوالکتریکی در فرهای مایکروویو شرایط غذا را کنترل می‌کنند و در یخچال‌ها از حسگرهای برفک استفاده می‌شود. به علاوه از آنها در ترانسفورماتورهای اولتراسونیک در مرطوب‌کننده‌ها، فنک‌های اجاق گاز، زنگ خطر آژیرهای خطر، دستگاه ناقل صدا در گیتارهای اکوستیک و ضبط صوت‌های دارای دیسک فشرده نیز استفاده می‌شود.

یک استفاده مهم سرامیک پیزوالکتریک در ایجاد و دریافت کردن امواج صوتی است. گستره کاربرد این مواد از ابزارها و تجهیزات اولتراسونیک برای عمق‌یابی در دریا و پیدا کردن محل تجمع ماهی‌ها تا تجهیزات ردیاب زیردریایی‌ها می‌باشد. مثلاً در نوک زیردریایی Trident از ۵ تن مواد پیزوسرامیک که همگی به‌صورت دیسک‌هایی با قطر ۴ اینچ و ضخامت ۰/۲۵ اینچ هستند استفاده 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 عیب‌یابی در داخل قطعات فلزی صنعتی است [۳].

فصل دوم

مروری مختصر بر محیط‌های دی‌الکتریک

و

روابط آنها

مقدمه

از نظر رفتار الکتروستاتیکی مواد را به دو دسته بزرگ تقسیم می‌کنند. این دو دسته بزرگ شامل مواد عایق و اجسام رسانا هستند. رساناها مانند فلزات، موادی هستند که خارجی‌ترین لایه‌های الکترونی اتم‌های آنها کاملاً پر نمی‌باشد و لذا تعداد بسیار زیادی حامل بار اساساً آزاد دارند. این حاملهای بار می‌توانند در پاسخ به میدان الکتریکی آزادانه در سرتاسر جسم رسانا حرکت کنند به طوری که اثر میدان خارجی را در داخل رسانا خنثی کنند. بنابراین میدان الکتریکی نمی‌تواند به داخل رسانا نفوذ کند.

دی الکتریکها یا مواد عایق دسته دیگری از مواد هستند که در آنها تمام ذرات باردار به نحوی نسبتاً محکم به مولکول‌های تشکیل دهنده مواد مقید هستند. این ذرات باردار ممکن است تحت تاثیر میدان الکتریکی اندکی جابجا شوند، اما از مجاورت مولکول‌هایی که به آنها مقیدند، دور نمی‌شوند. لذا میدانهای الکتریکی با شدت معینی می‌توانند به داخل آنها نفوذ کنند [۴]. به بیان دیگر، این تعریف فقط در مورد یک ماده عایق کامل یا ایده‌آل، یعنی دی الکتریک که در حضور میدان الکتریکی خارجی به هیچ وجه رسانایی از خود نشان ندهد، صادق است. اما مواد عایق واقعی اندکی رسانایی از خود نشان می‌دهند.

خواص الکتریکی برخی از مواد در حد فاصل میان رساناها و دی الکتریکها قرار دارد. این دسته از مواد را اصطلاحاً نیمرسانا می‌گویند. رفتار این مواد در یک میدان الکتریکی ایستا خیلی به رفتار اجسام رسانا شبیه است، اما پاسخ گذرای آنها از پاسخ رساناها اندکی کندتر است. برای این مواد مدت بیشتری طول می‌کشد تا در یک میدان الکتریکی ایستا به حالت تعادل برسند.

۲-۱ قطبش

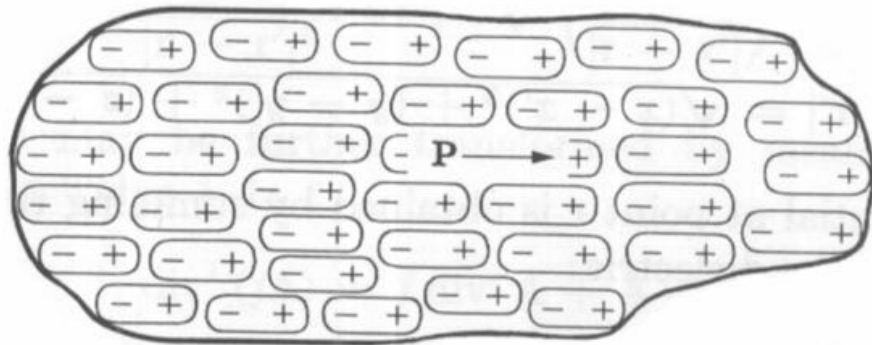
وقتی سیستمی تحت تأثیر یک میدان الکتریکی E قرار می‌گیرد، سبب می‌شود که نیرویی به هر ذره باردار وارد شود، ذرات با بار مثبت در جهت میدان رانده می‌شوند و ذرات با بار منفی در جهت مخالف آن، به گونه‌ای که قسمت‌های مثبت و منفی هر مولکول از مواضع حالت تعادل خود خارج و در دو جهت مخالف جابجا می‌شوند. مقدار جابجایی فوق به دلیل ایجاد نیروهای قوی بازگرداننده‌ای که در اثر تغییر پیکربندی مولکول‌ها بوجود می‌آیند، محدود است. تأثیر کلی از لحاظ ماکروسکوپی را می‌توان این طور تجسم کرد که تمامی بار مثبت دی الکتریک نسبت به بار منفی آن جابجا شده است. در این صورت اصطلاحاً گفته می‌شود که ماده دی الکتریک قطبیده شده است. هرگاه ماده دی الکتریک قطبیده شود، در این صورت جدایی بارهای مثبت و منفی تحقق پیدا می‌کند. به هر مولکول ماده‌ی دی الکتریک کمیتی به نام گشتاور دو قطبی الکتریکی نسبت می‌دهند و چون هر ماده از تعداد زیادی مولکول تشکیل شده است، بنابراین گشتاور دو قطبی الکتریکی در واحد حجم ماده را قطبش، P ، می‌گویند. قطبش کمیت فوق‌العاده مهمی است که برای محاسبه میدان الکتریکی حاصل از مواد عایق بسیار مهم است.

بنابر تجربه معلوم شده است که این گشتاور تقریباً به طور دقیق، برای تمام مقادیر معمولی E با میدان اعمال شده متناسب است، اما میدان‌های ناشی از لیزرهای پر قدرت چندان بزرگ‌اند که رفتار غیرخطی ایجاد می‌کنند.

۲-۱-۱ بردار قطبش الکتریکی \vec{P}

عنصر حجمی کوچکی چون ΔV از محیطی دی الکتریک را که روی هم رفته از حیث الکتریکی خنثی است در نظر می‌گیریم. هرگاه محیط قطبیده شود جدایی میان بارهای مثبت و منفی تحقق می‌یابد و عنصر حجم با گشتاور دو قطبی الکتریکی نظیر شکل (۲-۱) و طبق رابطه ذیل مشخص می‌شود:

$$\Delta \vec{P} = \int_{\Delta V} \vec{r} dq \quad (1-2)$$



شکل ۲-۱ قطعه‌ای از ماده‌ی دی‌الکتریک قطبیده. هر عنصر حجم به صورت یک دو قطبی \vec{P} نشان داده شده است [۶]

گشتاور دو قطبی الکتريکی در واحد حجم را به صورت زیر تعريف می‌کنیم:

$$\vec{P} = \frac{\Delta \vec{P}}{\Delta V} \quad (2-2)$$

به بیان دقیق‌تر، \vec{P} باید به عنوان حد این کسر تعريف شود وقتی که حجم ΔV از لحاظ ماکروسکوپی بسیار کوچک شود. بدین ترتیب \vec{P} که به یک تابع نقطه‌ای $\vec{P}(X, Y, Z)$ تبدیل می‌شود را معمولاً بردار قطبش الکتريکی یا فقط بردار قطبش محیط می‌نامند و ابعاد آن بار در واحد سطح بوده که در سیستم MKS برابر (مترمربع / کولن) است [۵].

۲-۱-۲ انواع قطبش پذیری

در اینجا به اختصار سه سازوکار مختلف را به اختصار بیان می‌کنیم که منجر به قطبیدگی محیط می‌شوند [۶].

۱- ساده‌ترین اثر وقتی رخ می‌دهد که یک تک اتم در میدان الکتريکی قرار می‌گیرد. در میدان صفر هسته با بار مثبت و ابر منفی الکترون‌ها نسبت به هم به صورت متقارن قرار می‌گیرند و اتم گشتاور دو قطبی ندارد. اما هنگامی که میدان E اعمال می‌شود، هسته و الکترون‌ها خلاف جهت هم حرکت می‌کنند (شکل ۲-۲) و اتم دو قطبی P راکسب می‌نماید. فرض می‌کنیم که این گشتاور با میدان E متناسب است. در نتیجه می‌توان نوشت:

$$\vec{P} = \alpha \vec{E} \quad (3-2)$$

که در آن α قطبش پذیری اتم است.