بسم الله الرّحمن الرّحيم

دانشکده فیزیک
گروه اتمی و ملوکولی
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

فیزیک-اتمی و ملکولی

سنتز پیزوسرامیک‌های نانوساختار بدون سرب و بررسی خواص حرارتی و الکتریکی آن

استاد راهنمای اول: دکتر محمود برهانی
استاد راهنمای دوم: دکتر مرتضی علیزاده

پژوهش و نگارش: محمدحسن تقی نسب شورکی

این پایان‌نامه طبق قرارداد شماره ۲۰/۱۸۰ با حمایت مالی صنایع دریایی شهید مقدم یزد انجام شده است.

فروردین ۱۳۹۲

تقدیم به

پدر، مادر و همسر مهربانم

تشکر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می‌بینم تا از زحمات بی‌دریغ اساتید فرزانه و ارجمندم جناب آقای دکتر برهانی و دکتر علیزاده نهایت قدردانی و تشکر را بجا آورم. چرا که راهنمایی‌های بی‌شائبه و نکته‌سنجی‌های استادانه ایشان چون چراغی بر راه انجام این پروژه می‌درخشید.

محمدحسن تقی نسب

چکیده:

در این پایان‌نامه سنتز ماده پیزوالکتریک کلسیم-سدیم- پتاسیم (KNN) به دو روش مکانوشیمیایی و مخلوط اکسیدها مورد بررسی قرار گرفت و تغییرات ساختاری صورت گرفته در حین فرآیند سنتز به وسیله آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) بررسی شد. به منظور تعیین دما و زمان زینترینگ، نمونه‌ها در دماها و زمان‌های مختلف زینتر شدند و با توجه به بهترین نتیجه به دست آمده برای خواص پیزوالکتریک و دی‌الکتریک و همچنین چگالی، به ترتیب برای نمونه حاوی مواد استاتی دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد زمان ۳ ساعت و برای نمونه حاوی ترکیبات کربناتی دمای ۱۰۵۰ درجه سانتیگراد و زمان ۳ ساعت به عنوان دما و زمان بهینه زینترینگ به دست آمد. بهترین خواص پیزوالکتریک برای نمونه استاتی ساخته شده به روش مکانوشیمیایی به دست آمد جایی که در دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد و زمان ۳ ساعت زینتر و ۳ ساعت آسیاب‌کاری مقدار ۲۳۰ پیکو کولن بر نیوتن به دست آمد.

فهرست مطالب:

۱-۱- علم سرامیک ۲

۱-۲- خواص برتر سرامیک‌ها نسبت به مواد دیگر ۲

۱-۲-۱- کاربردهای مختلف مواد سرامیکی ۲

۱-۲-۲- کاربردهای الکتریکی و مغناطیسی ۲

۱-۲-۳- کاربردهای شیمیایی و بیوشیمیایی ۳

۱-۲-۴- کاربردهای هسته ای ۳

۲-۱- مختصری راجع به مواد پیزوالکتریکی: از کواتز تاPZT ۵

۲-۱-۱- جنگ جهانی اول: ابزارهای آکوستیکی زیرآبی با استفاده از کوارتز و نمک راشل ... ۵

۲-۱-۲- جنگ جهانی دوم: کشف تیتانات باریوم ۵

۲-۱-۳- پیزوسرامیک‌های با پایه ی تیتانات زیر کونات سرب (PZT)..... ۶

۲-۲- مواد پیزوالکتریک ۷

۲-۳- رفتار پیزوالکتریک چیست؟ ۸

۲-۴- ساختار پروسکایت ۹

۲-۵- پلاریزاسیون..... ۱۰

۲-۶- دمای کوری ۱۲

۲-۷- ثابت دی الکتریک..... ۱۲

۲-۸- اتلاف دی الکتریک: ۱۵

۲-۹- زاویه اتلاف دی الکتریک ۱۵

۲-۱۰- پدیده آسایش..... ۱۷

۲-۱۱- تئوری ساخت..... ۱۸

۲-۱۱-۱- آماده سازی و دانه بندی پودر..... ۱۸

۲-۱۲- روش آلیاژسازی مکانیکی دگرگون یافته: ۲۱

۲-۱۲-۱- تاریخچه روش آلیاژسازی مکانیکی دگرگون یافته:..... ۲۱
۲-۱۲-۲- اهمیت و زمینه‌های استفاده از فرآیند آلیاژسازی مکانیکی دگرگون یافته: ۲۲
۲-۱۳- شرایط آسیاب کاری ۲۳
۲-۱۳-۱- نوع آسیاب ۲۳
۲-۱۳-۲- محفظه آسیاب کاری ۲۴
۲-۱۳-۳- سرعت آسیاب کاری: ۲۴
۲-۱۳-۴- زمان آسیاب کاری: ۲۴
۲-۱۳-۵- جنس، ابعاد و نحوه توزیع گلوله‌ها: ۲۵
۲-۱۳-۶- نسبت وزنی گلوله به پودر: ۲۵
۲-۱۳-۷- میزان پرشدن محفظه‌ها ۲۶
۲-۱۳-۸- اتمسفر آسیاب کاری ۲۶
۲-۱۳-۹- عوامل کنترل کننده فرآیند ۲۶
۲-۱۳-۱۰- دمای آسیاب کاری:..... ۲۷
۲-۱۳-۱۱- شدت آسیاب کاری: ۲۷
۲-۱۴- مکانیزم فرآیند مکانوشیمیایی ۲۷
۲-۱۵- کلسیناسیون ۲۸
۲-۱۶- تفجوشی / زینتر ۲۹
۳-۱- تجهیزات و لوازم مورد استفاده: ۳۱
۳-۱-۱- ترازوی دیجیتال ۳۱
۳-۱-۲- قالب پرس به قطر ۹ میلیمتر از جنس اسپیکا ۳۱
۳-۱-۳- دستگاه پرس ۳۱
۳-۱-۴- خشک‌کن ۳۲
۳-۱-۵-هیتر ۳۲
۳-۱-۶- کوره ۳۳

۳-۱-۷- ریز سنج ۳۴
۳-۱-۸- مولتی‌متر ۳۴
۳-۱-۹- LCR متر دیجیتال ۳۴
۳-۲- روش تحقیق: ۳۵
۳-۲-۱- روش مخلوط اکسیدها: ۳۵
۳-۲-۲- آنالیز ساختاری: ۳۵
۳-۲-۳- آنالیز ریزساختاری: ۳۶
۳-۲-۴- آنالیز حرارتی با استفاده از آنالیز حرارتی افتراقی(*DTA*) ۳۶
۳-۲-۵- اندازه گیری خواص الکتریکی ۳۷
۳-۲-۶- تهیه قطعه ۳۷
۳-۲-۷- اندازه گیری چگالی: ۳۷
۳-۲-۸- اندازه گیری خواص پیزوالکتریک و دی الکتریک نمونه‌های زینتر شده: ۳۸
روش آلیاژسازی مکانیکی دگرگونی یافته: ۳۹
۴-۱- بررسی خواص ساختاری و ریزساختاری ۴۱
۴-۱-۱- نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس(X) XRD نمونه KNN کربناتی ساخته شده به روش آلیاژسازی مکانیکی دگرگون یافته : ۴۱
۴-۱-۲- نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس(X) XRD نمونه KNN استاتی ساخته شده به روش آلیاژسازی مکانیکی دگرگون یافته : ۴۲
۴-۱-۳- نتایج بررسی ریز ساختاری در زمان سه ساعت آسیاب کاری پودرهای KNN ۴۳
۴-۱-۴- نتایج بررسی ریز ساختاری نمونه های KNN : ۴۴
۴-۲- نتایج بررسی ریزساختاری باTEM : ۴۷
۴-۳- نتایج آنالیز حرارتی(DTA) : ۴۹
۴-۴- بررسی چگالی نمونه‌ها در دماهای مختلف زینتر ۵۳
۴-۴-۱- نمونه کربناتی ۵۳

۴-۴-۲ مقایسه چگالی ظاهری نمونه‌های کربناتی و استاتی در دماهای مختلف زینتر: ۵۵
۴-۴-۳- مقایسه چگالی ظاهری نمونه‌های کربناتی و استاتی $K_{.5}Na_{.5}NbO_3$ در زمان‌های مختلف زینتر:.....۵۶
۴-۵- بررسی خواص پیزوالکتریک نمونه‌های ساخته شده: ۵۷
۴-۵-۱- بررسی ثابت پیزوالکتریک نمونه‌ها (d_{33}): ۵۷
۴-۶- نتایج اندازه‌گیری خواص الکتریکی نمونه‌ها..... ۵۹
۴-۶-۱- نتایج خواص دی‌الکتریک..... ۵۹
۴-۶-۲- بررسی ثابت دی الکتریک نمونه‌ها در دماهای مختلف زینتر و فرکانس ده کیلوهرتز: ۵۹
۴-۶-۳- بررسی ثابت دی الکتریک نمونه‌ها در دماهای مختلف زینتر و فرکانس صد کیلوهرتز: ۶۰
۴-۶-۴- بررسی خواص دی‌الکتریک نمونه‌ها برحسب دمای زینترینگ در فرکانس‌های مختلف:.....۶۱
۴-۶-۵- تحلیل ۶۲
۴-۷- بررسی تانژانت اتلاف نمونه‌ها: ۶۴
۴-۷-۱- بررسی اتلاف دی‌الکتریک نمونه‌ها برحسب دمای زینترینگ در فرکانس‌های مختلف: ۶۴
۴-۷-۲- بررسی اتلاف دی الکتریک نمونه‌ها در دماهای مختلف زینتر و فرکانس ثابت: ۶۶
۴-۷-۳- تحلیل: ۶۶

فهرست شکل‌ها:

شکل(۲-۱) : ساختار پروسکایت..... ۱۰

شکل (۲-۲): آسیاب گلوله ای ۲۰

شکل(۲-۳): گلوله‌های زیرکونیا به کار رفته در دستگاه بال میل..... ۲۰

شکل(۲-۴) : مراحل زینترینگ ۲۹

شکل(۳-۱):دستگاه پرس دستی..... ۳۱

شکل(۳-۲): خشک کن..... ۳۲

شکل(۳-۳): هیتر ۳۳

شکل(۳-۴): کوره ۱۱۵۰ °C ۳۳

شکل(۳-۶): دستگاه اندازه گیری ظرفیت خازنی..... ۳۴

شکل(۳-۷): نمونه الکترود گذاری شده..... ۳۸

شکل(۴-۱): تصاویر XRD از نمونه های مختلف..... ۴۱

شکل(۴-۲): تصاویر XRD از نمونه های مختلف KNN استاتی..... ۴۲

شکل(۴-۳):تصاویر SEM نمونه پودرهای کربناتی..... ۴۳

شکل(۴-۴):تصاویر SEM نمونه‌پودرهای استاتی..... ۴۶

شکل(۴-۵): تصاویر نمونه های SEM استاتی در زمان..... ۴۷

شکل(۴-۶): تصویر زمینه روشن TEM پودر ۳ ساعت آسیاب شده..... ۴۸

شکل(۴-۷): نتایج آنالیز حرارتی برای نمونه نیم ساعت آلیاژسازی شده برای نمونه استاتیKNN ۴۹

شکل (۴-۸): نتایج آنالیز حرارتی برای نمونه شش ساعت آلیاژسازی شده برای نمونه استاتیKNN ۵۰

شکل(۴-۹): نتایج آنالیز حرارتی برای مقایسه نمونه شش ساعت و نیم ساعت آلیاژسازی شده ۵۱

شکل(۴-۱۰): نتایج TGA نمونه شش ساعت آلیاژسازی شده برای نمونه استاتیKNN ۵۲

شکل(۴-۱۱) : نمودار چگالی ظاهری برحسب دمای زینتر برای نمونه کربناتی..... ۵۴

شکل(۴-۱۲): نمودار چگالی ظاهری برحسب دمای زینتر برای نمونه استاتی ۵۵

شکل(۴-۱۳): نمودار مقایسه چگالی ظاهری برحسب دمای زینتر برای نمونه های کربناتی و استاتی..... ۵۵

شکل(۴-۱۴) : نمودار مقایسه چگالی ظاهری KNN برحسب زمان زینتر ۵۶

شکل(۴-۱۵): نمودار مقایسه ثابت پیزوالکتریک نمونه استاتی و کربناتی برحسب دمای زینتر تولید شده..... ۵۷

شکل(۴-۱۶): نمودار مقایسه ثابت پیزوالکتریک نمونه استاتی و کربناتی $k_{.5}Na_{.5}Nb_3$برحسب دمای زینتر ۵۸

شکل(۴-۱۷) : نمودار مقایسه ثابت دی‌الکتریک نمونه استاتی و کربناتی KNN ۵۹
شکل(۴-۱۸) : نمودار مقایسه ثابت دی‌الکتریک نمونه استاتی و کربناتی ۶۰
شکل(۴-۱۹): نمودار مقایسه ثابت دی‌الکتریک نمونه استاتی و کربناتی ۶۱
شکل(۴-۲۰) : نمودار مقایسه اتلاف دی‌الکتریک نمونه استاتی و کربناتی KNN برحسب فرکانس‌های مختلف در دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد ۶۴
شکل(۴-۲۱) : نمودار مقایسه اتلاف دی‌الکتریک نمونه استاتی و کربناتی KNN برحسب فرکانس‌های مختلف در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد ۶۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱- علم سرامیک

علم سرامیک، سرامیک‌ها را بـه دو بخـش سـرامیک فیزیکـی و سـرامیک صـنعتی تقسـیم می‌کنند. در سرامیک فیزیکی ساختار اتمی، اتصالات بین اتم‌ها، معایب ساختاری، رشـد دانـه‌هـا، تبلور مجدد و مباحثی نظیر آنها مورد بحث قرار می‌گیرد. درحالی که در علم سـرامیک صـنعتی از تکنولوژی ساخت سرامیک‌ها صحبت می‌شود[۱].

۱-۲- خواص برتر سرامیک‌ها نسبت به مواد دیگر

سرامیک‌ها به علت دارا بودن خواص انحصاری سختی زیاد، استحکام فشاری بالا، مقاومت به خوردگی بالا، دیرگدازی بالا، سبکی زیاد و ارزانی قیمت، نسبت به مواد دیگـر برتـری دارنـد. ایـن خواص منحصر بفرد است که باعث شده کاربرد آنها در صنعت روز به روز افزایش یابد[۱].

۱-۲-۱- کاربردهای مختلف مواد سرامیکی

همانطور که در بالا ذکر شد، سرامیک‌ها با خواص منحصر به فرد خود، می‌توانند کاربردهای مختلفی داشته باشند که به طور خلاصه به صورت زیر تقسیم بندی می‌شوند [۲-۳]:

۱-۲-۲- کاربردهای الکتریکی و مغناطیسی

از سرامیک‌ها به طور گسترده به عنوان دی‌الکتریک‌ها، پیزوالکتریـک‌هـا، پایروالکتریـک‌هـا، ابررساناها و مغناطیس‌های نرم و سخت استفاده می‌شـود[۴]. در ادامـه بـه ایـن نـوع سـرامیک‌هـا می‌پردازیم.

۱-۲-۳- کاربردهای شیمیایی و بیوشیمیایی

خواصی چون استحکام فشاری و مقاومت به خوردگی بالا باعث شده تا از سرامیک‌ها در ساخت پروتزهای استخوانی و کاتالیزورهای شیمیایی استفاده شود[۸].

۱-۲-۴- کاربردهای هسته ای

یکی از مهم‌ترین کاربردهای سرامیک‌ها در سوخت‌های هسته‌ای سرامیکی[۱]، مواد کنترل کننده فعالیت رآکتور، مواد کاهش دهنده انرژی نوترون، مواد محافظت کننده از رآکتور و نگهداری و بازیافت پسماندهای هسته‌ای[۲] می‌باشد[۳].

---

[۱] در سال های اخیر استفاده از اکسید زیرکونیوم(زیرکونیا) در سوخت هسته ای به علت پایداری شیمیایی و نقطه ذوب بالا مطرح شده است [۳]

[۲] در طی دهه های اخیر یکی از چالش های دانشمندان هسته ای پایدارسازی و نگهداری ضایعات هسته ای بوده است.در سال های اخیر با ورود یک ماده سرامیکی جدید موسوم به سینراک، تحولی شگرف در زمینه نگهداری پسماندها حاصل شده است که یک ماده سنتزی چند فازی بر پایه تیتانات می باشد. مقاومت حرارتی بالای سینراک باعث می شود که اولا تنش های حرارتی که باعث ایجاد ترک های داخلی شده و در نتیجه سرعت خوردگی و خروج پسماندها را تسریع می کند، کاهش یابد، ثانیا باعث می شود که سینراک را بتوان در عمق بیشتری از زمین بکار برد.[۳]

فصل دوم

مروری بر تحقیقات انجام شده

۲-۱- مختصری راجع به مواد پیزوالکتریکی: از کواتز تا PZT

دهم آوریل ۱۹۱۲، ساعت ۱۱:۴۵ دقیقه که تراژدی غرق شدن تایتانیک رخ داد. این حادثه به خاطر برخورد کشتی با کوه یخ مخفی در تاریکی اتفاق افتاد. به خاطر همین حادثه غم انگیز، پیشرفت فناوری فراصوتی با استفاده از پیزوالکتریسیته به پویایی افتاد[۱۰].

۲-۱-۱- جنگ جهانی اول: ابزارهای آکوستیکی زیرآبی با استفاده از کوارتز و نمک راشل

ظهور جنگ جهانی اول در سال ۱۹۱۴ منجر به سرمایه‌گذاری جدی‌تری برای شتاب بخشیدن به پیشرفت فناوری فراصوتی به منظور کشف قایق‌های آلمانی در اعماق دریا شد. دکتر پائول لانژوین استاد دانشگاه صنعتی فیزیک و شیمی در پاریس، کسی که دوستان زیادی از جمله آلبرت آینشتاین، پیرکوری و ارنست رادرفورد داشت، با همکاری نیروی دریایی فرانسه شروع به انجام آزمایش‌هایی در زمینه انتقال سیگنال‌های فراصوتی در دریا نمود. در سال ۱۹۱۷ لانژوین موفق شد از ساحل جنوبی فرانسه یک پالس فراصوتی را در دریا انتقال دهد. تنها مواد پیزوالکتریکی موجود در اوایل قرن بیستم تک کریستال‌های نمک راشل و کوارتز بودند[۱۰].

۲-۱-۲- جنگ جهانی دوم: کشف تیتانات باریوم

سرامیک‌های تیتانات باریوم (BaTiO) مستقلا توسط سه کشور طی جنگ جهانی دوم، کشف شدند: آمریکا، ژاپن و روسیه، سالومان و واینر [۱۱] در سال ۱۹۴۲ میلادی، اوگاوا [۱۲] در سال ۱۹۴۴ میلادی و وال[۱۳] در سال ۱۹۴۴ میلادی. برای توسعه سیستم رادار فشرده به خازن "کندانسور" فشرده با ظرفیت بالا نیاز بود (در آن زمان به جای واژه capacitor ازcondenser استفاده می شد)[۱۳].

۲-۱-۳- پیزوسرامیک‌های با پایه ی تیتانات زیر کونات سرب (PZT)

پیزوسرامیک‌ها اولین بار در حدود سال ۱۹۵۰ میلادی استفاده عملی پیدا کردند و از آن موقع تا الان در گستره وسیع صنعتی به کار گرفته شده اند. کاربردهای مختلفی از مواد پیزوسرامیکی با استفاده از قابلیت تبدیل الکترومکانیکی این مواد سراغ داریم که می‌توان به مؤلفه‌های مدار ارتباطی، مبدل‌های فراصوتی، حسگرها و محرک‌ها اشاره کرد[۱۶]. اینچنین کاربرد وسیعی یکی از مشخصه‌های سرامیکی‌های پیزوالکتریکی در مقایسه با دیگر الکتروسرامیک‌هاست. مواد زیادی به عنوان جایگزین پیزوسرامیک‌ها طی سالیان متمادی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. به ویژه که مواد بدون سرب به خاطر هشدارهای فزاینده درباره ی اثرات محیطی سرب فعالانه در حال بررسی هستند و از این رو چندین نوع ماده مقبول کشف شده‌اند[۱۷]. با این همه هنوز هم بیشتر مورد استفاده در کارهای تجاری تیتانات زیرکونات سرب می‌باشد (PZT)($Pb(Zr\ Ti)O_3$). اثر پیزوالکتریسیته‌ی این ماده توسط جاف و دیگران در سال ۱۹۵۵ گزارش شده است [۱۸-۱۹]. از آن تاریخ تاکنون این ماده پیشرفت‌های فوق العاده‌ای توسط تیم‌های پژوهشی زیادی از سرتاسر دنیا به عنوان ماده‌ای پر مصرف داشته است. با این حال این پیزوسرامیک‌ها به دلیل آلودگی محیطی ناشی از سرب و همچنین فراریت سرب از ترکیب که به آن مردگی نیز گفته می‌شود سبب شد تا پیزوسرامیک‌های جدید تحت عنوان پیزوسرامیک‌های بدون سرب[۳] تولید شوند که نمونه‌ای از آن KNN ($k_{0.5}Na_{0.5}NbO_3$) می‌باشد.

۲-۱-۴ پیزوسرامیک‌های KNN

تحقیقات در زمینه ی مواد پیزوالکتریک بوسیله ی آمریکا، شوروی سابق و ژاپن بسط داده شد. محدودیت های ساخت این مواد از تجاری شدن آنها جلوگیری می کرد اما این مسأله نیز پس

[۳] Leadfree

از کشف باریم تیتانات و سرب زیرکونا تیتانات (PZT) در دهه های ۱۹۴۰، ۱۹۵۰ برطرف شد. تا این تاریخ، PZT یکی از مواد پیزوالکتریک پر کاربرد بود. در انتهای دهه ی ۱۹۵۰ میلادی رویکردی به سوی استفاده از پیزوالکتریک‌های نوین آغاز گردید. ترکیب $(Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO_3$ به اختصار BNT برای اولین بار در سال ۱۹۶۰ میلادی توسط Smolenski ارائه شد[۲۰] . این ترکیب اگرچه دارای دمای کوری بالایی (T_c=300 ^oC) بود اما خواص ناچیز (d_{33}= 60 PC/N) و همچنین نیاز به دما و زمان بالای حرارت دهی برای رسیدن به دانسیته ی مطلوب، به عنوان نقطه ضعفی عمده برای این ماده محسوب می شد[۲۱]. به همین دلیل همچنان ازPZT ها به عنوان اصلی ترین نوع سرامیک‌ها استفاده می‌شد. سرانجام در سال ۲۰۰۳ با تصویب قانون منع استفاده از محصولات حاوی سرب در اتحادیه اروپا تحقیقاتی وسیعی بر روی سرامیک‌های بدون سرب آغاز شد، و شیرانا و همکارانش تحقیق بر رویKNN ها را آغاز کردند و توانستند با ترکیب $(K_xNa_{1-x})Nbo_3$ به سرامیک‌های بدون سربی دست پیدا کنند که دارای خواص بسیار عالی نسبت به سایر سرامیک ها از جمله PZT ها بود [۲۲-۲۳].

از جمله خواص این نوع از پیزوسرامیک‌ها ثابت دی‌الکتریک بالا و اتلاف دی‌الکتریک پایین می‌باشد. در این پایان‌نامه سعی شد تا کار برروی این پیزوسرامیک‌ها را آغاز کنیم و با بهبود خواص آنها که با تغییر نوع مواد کاربردی و همچنین روش ساخت آنها انجام شد پیزوسرامیک‌هایی با خواص جدید و ساختاری نانو تولید کنیم.

۲-۲- مواد پیزوالکتریک

پیزوالکتریک‌ها در ترانسدیوسرها شتاب سنجها، میکروفونها، حس کننده صدا در دستگاه گرامافون، صفحه کلیدها و وسایل سیگنالی (فیلترها ، پس زنهای سیگنال، رزوناتورها)، مورد استفاده واقع می‌شوند [۲۴]. حس‌کننده‌های صدا در دستگاه‌های گرامافون نمونه‌ای از کاربردهاست که در آن‌ها نیروی مکانیکی به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود[۲۵]. زمانی‌که یک صفحه ضبط شده برروی صفحه گردنده خود گردش می‌نماید، یک سوزن، ارتعاشات ایجاد شده توسط نقشه و برجستگی‌های داخل شیار را حس می‌نماید. سپس آنها به سیگنال‌های الکتریکی توسط سرامیک

پیزوالکتریک، تبدیل می‌شوند. تقویت کردن سیگنال‌های الکتریکی، آنها را به موج‌های صدای قابل شنیدن تبدیل می‌کند[۲۳]. کریستال‌های نمک راشل با برش و شکل خاص، بدین منظور در گرامافون‌های تجاری اولیه استفاده می‌گردید[۲۴]. اگر چه استفاده از گرامافون‌ها بصورت قابل توجهی در چندین سال گذشته کاهش یافته است، ولی آنها هنوز با استفاده از پیزوالکتریک‌های پلی کریستالی نظیر تیتانات زیرکنیا سرب(PZT)، تولید می‌گردند.

۲-۳- رفتار پیزوالکتریک چیست؟

رفتار پیزوالکتریک عبارت است از تولید الکتریسیته توسط یک کریستال در اثر اعمال تنش. یک کریستال پیزوالکتریک نیز تحت کرنش قرار می گیرد، زمانی که یک میدان الکتریکی اعمال شود، که اصطلاحا رفتار پیزوالکتریک معکوس نامیده می‌شود [۲۷].

شرط ضروری تا یک کریستال پیزوالکتریک شود، عدم وجود مرکز تقارن در شبکه کریستالی است[۲۸]. ترکیبات سرب-زیرکونات-تیتانات (PZT[۱]) با شبکه پرسکایت در حال حاضر برای بیشتر کاربردهای پیزوالکتریک بکار می رود. سایر کریستال‌های سرامیکی که خاصیت پیزوالکتریک را از خود نشان می‌دهند شامل KNN، ZnO، CdS، AlN، $PbTiO_3$، کوارتز، $BaTiO_3$، $LiNbO_3$، $SrTiO_3$ و $LiTaO_3$ می‌باشند. $BaTiO_3$ وKNN تا حد زیادی توسط سرامیک‌های PZT در کاربردهای پیزوالکتریک جایگزین شده است[۲۸].

خاصیت پیزوالکتریک ماکروسکوپی نمی‌تواند در سرامیک‌های پلی کریستالی با جهت کریستالی تصادفی مشاهده گردد. با وجود این، پلاریزاسیون می‌تواند برای در یک جهت قرار دادن کریستال‌ها، استفاده شود. این امر معمولا توسط قطبی کردن (یعنی قرار دادن سرامیک در یک میدان DC بالا بعد از اتمام کلیه مراحل فرآیند) حاصل می شود. جهت پلاریزاسیون در سرامیک‌های پیزوالکتریک می‌تواند با درجه آزادی قابل توجهی انتخاب شود. از طرف دیگر،

---

[۱] Pb Zr TiO_3