



دانشکده مهندسی

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مواد - الکتروسرامیک

بررسی تاثیر افزودنی های اکسیدی بر خواص ترموالکتریک اکسید روی

به کوشش
رسول مطهری

استاد راهنما
دکتر بابک هاشمی

دی ماه ۱۳۹۰



به نام خدا

به نام خدا

بررسی تاثیر افزودنی های اکسیدی بر خواص ترموالکتریک اکسید روی

به کوشش

رسول مطهری

پایان نامه

ارئه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته ی

مهندسی مواد - الکتروسرامیک

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته ی پایان نامه با درجه ی: عالی

دکتر بابک هاشمی، دانشیار بخش مهندسی مواد (رئیس کمیته).....
دکتر محمد حسین پایدار، دانشیار بخش مهندسی مواد.....
دکتر ابولقاسم دهقان استادیار بخش مهندسی مواد.....
دکتر رضا اسلاملوویان، استادیار بخش مهندسی شیمی، نفت و گاز.....

دی ماه ۱۳۹۰

به نام خدا

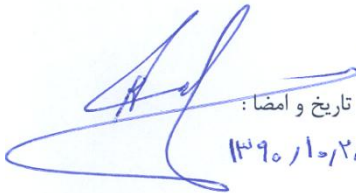
اظهار نامه

اینجانب رسول مطهری به شماره دانشجویی ۸۷۰۵۱۰ دانشجوی رشته مهندسی مواد گرایش الکتروسرامیک دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز، اظهار می‌کنم که این پایان نامه حاصل پژوهش بنده بوده و در جاهایی که از منابع دیگران استفاده کرده‌ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشته‌ام. همچنین اظهار می‌کنم که تحقیق و موضوع پایان نامه تکراری نیست و تعهد می‌نمایم که بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننموده و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیه حقوق این اثر مطابق با آیین نامه مالکیت فکری و معنوی متعلق به دانشگاه شیراز است.

نام و نام خانوادگی: رسول مطهری

تاریخ و امضا:

۱۳۹۰/۱۰/۲۸



تقدیم به تنها کسانی که بیش از خودم
دوستشان دارم...

پدر و مادر عزیزم

سپاسگزاری

اکنون که این رساله با یاری خدا به پایان رسیده در آخر بر خود لازم می‌دانم از تمامی کسانی که در طول انجام پایان نامه یار و یاورم بوده‌اند و فرصت رویش را بمن دادند تشکر و قدر دانی نمایم. اول از همه از خداوند بزرگ، ایزد یکتا، آرام دلها شاکرم. خدایی که دانش را به مثابه چراغی تابناک فرا راه زندگی‌ام قرار داد. خدایی که همیشه و در همه حال در سختی‌ها و آسایش کنارم بوده و لحظه‌ای مرا تنها نگذاشته.

از خانواده ام علی‌الخصوص پدر و مادرم، دو خورشید همیشه درخشان زندگی‌ام، که در طی دوران تحصیل همواره با صبوری و فداکاری در کنارم بوده‌اند و بخصوص در طی انجام پایان نامه، امید بخش من برای ادامه راه بوده‌اند کمال تشکر و سپاس را دارم. از استاد راهنمای فرزانه و با اخلاق جناب آقای دکتر هاشمی که در طی انجام پایان نامه با ارائه راهنمایی‌هایی ارزنده علمی کمک فراوانی به من کردند تشکر و قدردانی می‌نمایم. از اساتید مشاور خوش اخلاق و بزرگواری جناب آقای دکتر دهقان، جناب آقای دکتر پایدار، و جناب آقای دکتر اسلام‌ویبان به سبب ارائه پیشنهاداتی برای بهتر انجام شدن پایان‌نامه و خواندن دقیق متن پایان نامه کمال تشکر را دارم. هم چنین از جناب آقای دکتر برزگر استاد راهنمای قبلی بنده که چیزهای زیادی صادقانه به من آموختند، تشکر ویژه دارم. از خانم شریعتی مسئول محترم آزمایشگاه الکتروسرامیک، از بابت همکاری های بی دریغشان نیز تشکر می‌نمایم همچنین از خانم مهندس مریم بنیانی، مهندس علی کلاته مولایی، علی صالحی، مهدی افراشته ترابی، صابر جلیل پیران، فرشید حبیبی، سارا درستان، زهرا زمانی و مهدیه خسروی که به نوعی اینجانب را در انجام این پایان نامه یاری دادند به صورت ویژه قدردانی می‌نمایم.

چکیده

بررسی تاثیر افزودنی های اکسیدی بر خواص ترموالکتریک اکسید روی

به کوشش

رسول مطهری

در این تحقیق اثر افزودنی های اکسیدی همچون اکسید زیرکونیوم (ZrO_2)، اکسید کبالت (Co_3O_4)، اکسید کرم (Cr_2O_3) و پودر آلومیناسیلیکاتی ($Al_2O_3 - SiO_2$) بر خواص ترموالکتریک اکسید روی خالص (ZnO) مورد بررسی قرار گرفت. نمونه ها با استفاده از روش واکنش در حالت جامد ساخته شد. برای بررسی خصوصیات فازی نمونه ها، منحنی پراش اشعه ایکس آن ها مورد بررسی قرار گرفت. دانسیته نهایی و نسبی هر کدام از نمونه ها به روش ارشمیدس اندازه گیری شد و سرانجام برای بررسی خواص ترموالکتریک نمونه ها، هدایت الکتریکی، ضریب ضربه، هدایت حرارتی و در نهایت ضریب شایستگی ترموالکتریک نمونه ها مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده مشاهده شد که در نمونه های حاوی اکسید کرم در هیچ درصدی از ماده افزودنی بهبودی در خواص ترموالکتریک حاصل نمی گردد، اما در نمونه های حاوی اکسید زیرکونیوم، اکسید کبالت و پودر آلومیناسیلیکاتی در بعضی از درصدها به ویژه در دماهای بالا، ضریب شایستگی نسبت به اکسید روی خالص افزایش یافت. بیشترین افزایش در ضریب شایستگی ترموالکتریک مربوط به نمونه حاوی ۰.۱٪ وزنی کبالت بود که مقدار آن در دمای ۷۲۳ درجه کلوین برابر ۰/۵ شد.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۲	فصل اول مقدمه
۲	۱-۱ مواد ترموالکتریک
۴	۱-۱-۱ نیمه هادی های با پهنای باند متوسط
۴	۱-۱-۲ نیمه هادی های با پیوند ضعیف
۵	۱-۱-۳ فلزات و نیمه هادی های وابسته
۵	۱-۱-۴ ابر شبکه ها
۶	۲-۱ بیان ضرورت مسئله
۷	۳-۱ اهداف تحقیق
۸	۴-۱ ساختار پایان نامه
۱۰	فصل دوم مروری بر تحقیقات انجام شده
۱۰	۱-۲ تاریخچه مواد ترموالکتریک
۱۷	۲-۲ پدیده ترموالکتریک
۱۷	۱-۲-۲ اثر زیگ
۱۹	۲-۲-۲ اثر پلتیر
۲۰	۳-۲-۲ اثر تامسون
۲۱	۳-۲ بهبود خواص ترموالکتریک
۲۱	۱-۳-۲ بهینه کردن غلظت حامل ها
۲۲	۲-۳-۲ بهبود مواد و غلظت بهینه حامل ها

- ۲-۳-۳ رسوب و حلالیت دوپنت ۲۳
- ۲-۳-۴ مواد جدید ۲۵
- ۲-۴ مینیمم کردن هدایت حرارتی ۲۵
- ۲-۵ لازمه ی هدایت حرارتی پایین ۲۸
- ۲-۶ کاهش هدایت حرارتی شبکه ۲۹
- ۲-۶-۱ بی نظمی آلیاژی ۲۹
- ۲-۶-۲ پراکندگی رزنانس ۳۱
- ۲-۶-۳ پراکندگی توسط حامل های بار ۳۱
- ۲-۶-۴ پراکندگی بوسیله مرزدانه ها ۳۲
- ۲-۷ هدایت حرارتی حداقل ۳۵
- ۲-۸ پراکندگی انتخابی حامل ها در مواد ترموالکتریک ۳۷
- ۲-۸-۱ پراکندگی رزنانت (تشدید شده) ۳۸
- ۲-۸-۲ پراکندگی توسط موانع پتانسیلی ۴۱
- ۲-۹ اثر افزودنی ها در ایجاد عیوب و تاثیر آن ها در رسانایی الکتریکی نیمه هادی ها ۴۵
- ۲-۹-۱ انواع نیمه هادی ها ۴۶
- ۲-۹-۲ تاثیر بوجود آمدن عیوب در رسانایی مواد سرامیکی ۴۸
- ۲-۱۰ کارهای انجام شده در زمینه بهبود خواص ترموالکتریک اکسید روی ۴۹
- ۲-۱۰-۱ بررسی خواص ترموالکتریک اکسید روی دوپ شده با آلومینا ۴۹
- ۲-۱۰-۲ رابطه بین خصوصیات ترموالکتریک و جرم موثر در نمونه های اکسید روی دوپ شده با آلومینا ۵۱
- ۲-۱۰-۳ اثر اکسید تیتانیم روی خواص ترموالکتریک دما بالای اکسید روی ۵۳

فصل سوم مواد و روش تحقیق ۵۷

۱-۳ انتخاب مواد اولیه و ویژگی های آنها ۵۸

۲-۳ محاسبه وزن دوپنت و توزین مواد اولیه ۵۹

۴-۳ مخلوط کردن پودر مواد اولیه ۶۱

۵-۳ کلسیناسیون پودرها ۶۲

۶-۳ اضافه کردن بایندر به پودرهای کلسینه شده ۶۳

۷-۳ عملیات شکل دهی ۶۵

۸-۳ حذف ماده بایندر از نمونه ها ۶۷

۹-۳ سینتر کردن نمونه ها ۶۸

۱۰-۳ پولیش کردن نمونه ها ۶۹

۱۱-۳ اندازه گیری دانسیته نمونه های تولیدی ۶۹

۱۲-۳ الکتروود گذاری نمونه ها ۷۱

۱۳-۳ آزمایش پراش اشعه ایکس ۷۱

۱۴-۳ اندازه گیری هدایت حرارتی نمونه ها ۷۲

۱۵-۳ اندازه گیری ضریب زبک و هدایت الکتریکی ۷۴

فصل چهارم نتایج و بحث ۷۹

۱-۴ بررسی الگوهای پراش اشعه ایکس نمونه های دوپ شده ۸۰

۱-۱-۴ الگوهای پراش اشعه ایکس نمونه های دوپ شده با اکسید زیرکونیوم (ZrO_2) ۸۰

۲-۱-۴ الگوی پراش اشعه ایکس نمونه های دوپ شده با اکسید کبالت (Co_3O_4) ۸۲

۳-۱-۴ الگوی پراش اشعه ایکس نمونه دوپ شده با اکسید کرم (Cr_2O_3) ۸۴

- ۴-۱-۴ الگوی پراش اشعه ایکس نمونه دوپ شده با پودر آلومینوسیلیکاتی ۸۶
- ۲-۴ بررسی دانسیته نهایی نمونه های دوپ شده ۸۷
- ۳-۴ بررسی هدایت الکتریکی نمونه های دوپ شده ۹۰
- ۱-۳-۴ هدایت الکتریکی نمونه های دوپ شده با اکسید زیرکونیوم (ZrO_2) ۹۰
- ۲-۳-۴ هدایت الکتریکی نمونه های دوپ شده با اکسید کبالت (Co_3O_4) ۹۲
- ۳-۳-۴ هدایت الکتریکی نمونه های دوپ شده با اکسید کرم (Cr_2O_3) ۹۴
- ۴-۳-۴ هدایت الکتریکی نمونه های $ZnO-Al_2O_3-SiO_2$ ۹۵
- ۴-۴ بررسی ضریب زبک نمونه های دوپ شده ۹۶
- ۱-۴-۴ طریقه بدست آوردن ضریب زبک ۹۶
- ۲-۴-۴ بررسی ضریب زبک نمونه های دوپ شده با اکسید زیرکونیوم ۹۸
- ۳-۴-۴ بررسی ضرایب زبک برای نمونه دوپ شده با Co_3O_4 ۱۰۰
- ۴-۴-۴ بررسی ضریب زبک نمونه های دوپ شده با اکسید کرم (Cr_2O_3) ۱۰۲
- ۵-۴-۴ ضریب زبک نمونه های $ZnO-Al_2O_3-SiO_2$ ۱۰۴
- ۵-۴ بررسی هدایت حرارتی نمونه های دوپ شده ۱۰۵
- ۱-۵-۴ هدایت حرارتی نمونه های دوپ شده با ZrO_2 ۱۰۵
- ۲-۵-۴ هدایت حرارتی نمونه های دوپ شده با Co_3O_4 ۱۰۷
- ۳-۵-۴ هدایت حرارتی نمونه های دوپ شده با Cr_2O_3 ۱۰۸
- ۴-۵-۴ هدایت حرارتی نمونه های $ZnO-Al_2O_3-SiO_2$ ۱۱۰
- ۶-۴ بررسی ضریب شایستگی ترموالکتریک نمونه ها ۱۱۱
- ۱-۶-۴ ضریب شایستگی نمونه های دوپ شده با اکسید زیرکونیوم ۱۱۱
- ۲-۶-۴ ضریب شایستگی نمونه ای دوپ شده با Cr_2O_3 ۱۱۳

۳-۶-۴ ضریب شایستگی نمونه های دوپ شده با Co_3O_4 ۱۱۵

۴-۶-۴ ضریب شایستگی مربوط به نمونه های $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ۱۱۷

فصل پنجم جمع بندی و پیشنهادات ۱۲۰

۱-۵ جمع بندی ۱۲۰

۱-۱-۵ آزمایش پراش اشعه ایکس ۱۲۰

۲-۱-۵ دانسیته نهایی نمونه ها ۱۲۱

۳-۱-۵ هدایت الکتریکی ۱۲۱

۴-۱-۵ ضریب زبک ۱۲۱

۵-۱-۵ هدایت حرارتی ۱۲۲

۶-۱-۵ ضریب شایستگی ترموالکتریک ۱۲۲

۲-۵ پیشنهادات ۱۲۳

مراجع ۱۲۴

فهرست شکل ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ تغییرات $(\alpha^2 n)$ در برابر پهنای چاه پتانسیل برای PbTe.....	۶
شکل ۱-۲ مدار ترمودینامیکی برای ضریب زبک نسبی	۱۸
شکل ۲-۲ مدار ترمودینامیک برای اثر پلتیر.....	۱۹
شکل ۳-۲ (a) گرادیان های دمایی متضاد در یک تک هادی در یک مدار باز (b) گرادیان های دمایی نامتقارن به علت اثر تامسون در یک هادی در یک مدار بسته	۲۱
شکل ۴-۲ وابستگی σ ، σ و $k(\lambda)$ به غلظت حامل های آزاد.....	۲۲
شکل ۵-۲ تغییرات Z نسبت به غلظت دوپنت ها در سیستم Si-Ge.....	۲۴
شکل ۶-۲ ماکزیمم ضریب شایستگی بدون بعد بر حسب نسبت $\lambda L / \lambda e$ برای چند ماده ترموالکتریک مختلف	۲۷
شکل ۷-۲ هدایت حرارتی شبکه و انرژی گپ برای تعدادی از نیمه هادی ها	۲۹
شکل ۸-۲ هدایت های حرارتی (λ) و هدایت الکتریکی (σ) Bi_2Ti_3 نوع p و n.....	۳۲
شکل ۹-۲ انتگرال هدایت حرارتی بر حسب افزایش فرکانس فونون	۳۵
شکل ۱۰-۲ مقادیر $\alpha^2 \sigma$ محاسبه شده نسبت به حالتی که پراکندگی رزنانت وجود ندارد	۴۱
شکل ۱۱-۲ ضریب زبک منحنی ۱، هدایت الکتریکی منحنی ۲، $\alpha^2 \sigma$ و منحنی ۳ بر حسب η	۴۳
شکل ۱۲-۲ فاکتور $\alpha^2 \sigma$ در فیلم تلوراید سرب نسبت به حالت بالک بر حسب غلظت الکترون ها	۴۵
شکل ۱۳-۲ وابستگی دمایی a- هدایت حرارتی، b- هدایت الکتریکی و c- ضریب زبک نمونه های ZnO با تغییر مقدار Al_2O_3 اضافه شده	۵۰
شکل ۱۴-۲ تغییرات ضریب شایستگی بر حسب دما برای نمونه های ZnO دوپ شده با آلومینا	۵۱
شکل ۱۵-۲ تغییرات غلظت حامل ها بر حسب درصد آلومینیوم اضافه شده به اکسید روی	۵۲

- شکل ۱۶-۲ ضریب زبک بر حسب غلظت حامل ها برای نمونه های اکسید روی دوپ شده با اکسید آلومینیوم ۵۲
- شکل ۱۷-۲ فاکتور توان نمونه های ZnO دوپ شده با اکسید آلومینیوم تابعی از نسبت c/a در دمای اتاق و °C ۸۰۰ ۵۳
- شکل ۱۸-۲ هدایت الکتریکی بر حسب درجه حرارت برای نمونه های ZnO دوپ شده با اکسید تیتانیوم ۵۴
- شکل ۱۹-۲ تغییرات ضریب زبک نمونه های ZnO دوپ شده با زیرکونیوم در برابر درجه حرارت ۵۵
- شکل ۲۰-۲ تغییرات فاکتور توان نمونه های ZnO دوپ شده با TiO₂ بر حسب درجه حرارت ۵۵
- شکل ۱-۳ دستگاه آسیاب گلوله ای ۶۲
- شکل ۲-۳ دستگاه همزن مغناطیسی ۶۴
- شکل ۴-۳ شمایی از دستگاه پرس تک محوری ۶۶
- شکل ۵-۳ سیکل عملیات سوزاندن مواد پلیمری و تفت جوشی ۶۷
- شکل ۶-۳ نمایی از کوره مورد استفاده جهت زینتر کردن نمونه ها ۶۸
- شکل ۷-۳ نمایی از ترازوی مورد استفاده جهت اندازه گیری دانسیته نمونه ها ۷۰
- شکل ۸-۳ دستگاه پراش اشعه ایکس ۷۲
- شکل ۹-۳ نمایی از دستگاه اندازه گیری هدایت حرارتی جامدات ۷۴
- شکل ۱۰-۳ نمایی از دستگاه اندازه گیری ضریب زبک ۷۶
- شکل ۱۱-۳ نمای دیگری از دستگاه اندازه گیری ضریب زبک ۷۶
- شکل ۱۲-۳ دستگاه مولتی متر مورد استفاده جهت اندازه گیری ولتاژ و مقاومت ۷۷
- شکل ۱-۴ الگوی پراش اشعه ایکس اکسید روی خالص و نمونه های با زیرکونیوم دوپ شده ... ۸۲
- شکل ۲-۴ الگوی پراش اشعه ایکس اکسید روی خالص و دوپ شده با ۰.۵٪ و ۲٪ کبالت ۸۴
- شکل ۳-۴ الگوی پراش اشعه ایکس اکسید روی خالص و نمونه های دوپ شده با ۰.۵ و ۲ درصد کرم ۸۶
- شکل ۴-۴ الگوی پراش اشعه ایکس اکسید روی خالص و نمونه دوپ شده با ۲ درصد پودر آلومینو سیلیکاتی ۸۷

- شکل ۴-۵ تغییرات هدایت الکتریکی اکسید روی خالص و نمونه های دوپ شده با زیرکونیوم .. ۹۲
- شکل ۴-۶ تغییرات هدایت الکتریکی بر حسب درجه حرارت برای ZnO خالص و نمونه های دوپ شده با Co ۹۳
- شکل ۴-۷ تغییرات هدایت الکتریکی نمونه های دوپ شده با اکسید کرم ۹۵
- شکل ۴-۸ تغییرات هدایت الکتریکی بر اساس درجه حرارت برای نمونه های ZnO-Al₂O₃-SiO₂ ۹۶
- شکل ۴-۹-a تغییرات ضریب زبک بر حسب درجه حرارت برای اکسید روی خالص و نمونه های دوپ شده با ZrO₂ ۹۹
- شکل ۴-۹-b تغییرات ضریب زبک بر حسب درجه حرارت برای نمونه های حاوی ۱ و ۲ درصد زیرکونیوم ۱۰۰
- شکل ۴-۱۰ تغییرات ضریب زبک با درجه حرارت نمونه های دوپ شده با اکسید کبالت ۱۰۱
- شکل ۴-۱۱ تغییرات ضریب زبک بر حسب درجه حرارت برای نمونه های دوپ شده با کرم ... ۱۰۳
- شکل ۴-۱۲ تغییرات ضریب زبک در برابر درجه حرارت نمونه های Al₂O₃-SiO₂-ZnO ... ۱۰۵
- شکل ۴-۱۳ نمودار تغییرات هدایت حرارتی اکسید روی خالص و نمونه های دوپ شده با ۰/۵ و ۱/۵ درصد زیرکونیوم ۱۰۶
- شکل ۴-۱۴ تغییرات هدایت حرارتی اکسید روی خالص و نمونه های دوپ شده با ۱ و ۲ درصد کبالت ۱۰۸
- شکل ۴-۱۵ تغییرات هدایت حرارتی اکسید روی خالص و نمونه های دوپ شده با ۰/۵ و ۲ درصد کرم در برابر درجه حرارت ۱۱۰
- شکل ۴-۱۶ تغییرات هدایت حرارتی در برابر درجه حرارت برای نمونه های ZnO-Al₂O₃-SiO₂ ۱۱۱
- شکل ۴-۱۷ تغییرات ضریب شایستگی در برابر درجه حرارت برای نمونه های حاوی ۰/۵ و ۱/۵ درصد زیرکونیوم ۱۱۲
- شکل ۴-۱۸ تغییرات توان ترموالکتریک نمونه های دوپ شده با اکسید زیرکونیوم بر حسب درجه حرارت ۱۱۳

- شکل ۴-۱۹ منحنی تغییرات ضریب شایستگی در برابر درجه حرارت در نمونه های حاوی ۰/۵ و ۲ درصد کرم ۱۱۴
- شکل ۴-۲۰ تغییرات توان ترموالکتریک بر حسب درجه حرارت برای نمونه های دوپ شده با اکسید کرم ۱۱۴
- شکل ۴-۲۱ تغییرات ضریب شایستگی در برابر درجه حرارت برای نمونه های حاوی ۱ و ۲ درصد کبالت ۱۱۵
- شکل ۴-۲۲ نمودار تغییرات توان ترموالکتریک بر حسب درجه حرارت نمونه های دوپ شده با Co_3O_4 ۱۱۶
- شکل ۴-۲۳ نمودار تغییرات ضریب شایستگی برای نمونه های دوپ شده Al_2O_3 ۱۱۷
- شکل ۴-۲۴ تغییرات ضریب شایستگی در برابر درجه حرارت برای نمونه های $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ۱۱۸
- شکل ۴-۲۵ تغییرات توان ترموالکتریک در برابر درجه حرارت برای نمونه های $\text{ZnO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ۱۱۸

فهرست جدول ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۳ مواد اولیه استفاده شده در پژوهش و برخی ویژگیهای فیزیکی آن ها	۵۸
جدول ۲-۳ وزن اتمی و شعاع یونی یون های استفاده شده بر اساس عدد همسایگی	۵۹
جدول ۳-۳ مقدار اکسید روی و اکسید زیرکونیوم لازم و درصد اکسید زیرکونیوم دوپ شده برای درصدهای مختلف زیرکونیوم	۶۱
جدول ۱-۴ دانسیته نهایی و نسبی نمونه های دوپ شده با اکسید زیرکونیوم با دمای تفت جوشی 1400°C	۸۸
جدول ۲-۴ دانسیته نهایی و نسبی نمونه های اکسید روی دوپ شده با اکسید کبالت (Co_3O_4) با دمای تفت جوشی 1400°C	۸۸
جدول ۳-۴ دانسیته نهایی و نسبی نمونه های اکسید روی دوپ شده با اکسید کرم با دمای تفت جوشی 1400°C	۸۸
جدول ۴-۴ دانسیته نهایی اکسید روی دوپ شده با پودر هالواسفر آلومینا-سیلیکاتی با دمای تفت جوشی 1300°C	۸۹
جدول ۵-۴ مقادیر ولتاژ بر حسب درجه حرارت برای نمونه $0.5\%\text{Zr}$ (اندازه گیری شده توسط دستگاه ضریب زبک)	۹۷
جدول ۶-۴ مقادیر ضریب زبک بر حسب درجه حرارت برای نمونه $0.5\%\text{Zr}$	۹۸



فصل اول

۱-۱ مواد ترموالکتریک^۱

به طور کلی اگر گرادیان دمایی به یک جامد اعمال شود یک میدان الکتریکی در جهت مخالف در داخل آن ایجاد می شود و یا بالعکس ، اگر یک جریان الکتریکی در داخل جامدی اعمال شود در دو طرف آن جامد یک گرادیان دمایی به وجود می آید. به این پدیده ها اثر ترموالکتریک گفته می شود و به موادی که بیشتر دارای این خاصیت باشند، مواد ترموالکتریک گویند. می توان گفت تمام مواد جامد دارای خاصیت ترموالکتریک هستند با این تفاوت که در بعضی از آن ها این خاصیت ضعیف تر و در بعضی دیگر شدید تر است.

با توجه به این تعریف مواد ترموالکتریک دو کاربرد اصلی دارند. گاهی مواد ترموالکتریک به منظور تولید انرژی الکتریکی بکار می روند یعنی بامصرف انرژی حرارتی، انرژی الکتریکی تولید می شود و گاهی این مواد به منظور خنک سازی استفاده می شوند در این حالت جریان الکتریکی مصرفی باعث ایجاد اختلاف دمایی می شود که از آن برای خنک کردن استفاده می گردد.

در سال ۱۹۵۰، Ioffe نشان داد که نیمه هادی دارای افزودنی اثر ترموالکتریک بیشتری را نسبت به مواد دیگر از خود نشان می دهند. تا سال ۱۹۹۰ توجه خاصی به این مواد نمی شد ولی از آن سال به بعد توجه به این مواد به منظور کشف مواد جدید باخواص ترموالکتریک جالب ، بیشتر شد.

بازده مواد ترموالکتریک به وسیله ضریب شایستگی^۲ بدون بعد ، ZT ، بیان می شود. T دمای مطلق می باشد پارامتر Z ضریب شایستگی بوده و بصورت زیر تعریف می شود:

$$Z = \alpha^2 \sigma / K \quad (1-1)$$

. در رابطه بالا α ضریب زبک^۳ ، σ هدایت الکتریکی^۴ و k حرارتی^۵ است؛ واحد Z $(1/k)$ می باشد اما ZT بدون بعد خواهد بود.

¹ Thermoelectric Materials

² Figure of Merit

³ Seebeck coefficient

⁴ Electrical conductivity

⁵ Thermal conductivity