بسم الله الرحمن الرحيم

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

خانم حجیه سلطانی رساله ۲۵ واحدی خود را با عنوان تاثیر اکسید سازیرم بررسی ساختار وخواص الکتریکی وریستورهای پرپایه اکسید قلع، تهیه شده از نانو پودرهای سنتز شده به روش هم رسوبی در تاریخ ۱۳۸۹/۱۱/۳۰ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری مهندسی مواد - سرامیک پیشنهاد می کنند.

حضر هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر احسان ظاهری نساج	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر رسول صراف مأموری	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر پروین علیزاده	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر حمیدرضا رضایی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر فرهاد گلستانی فرد	استاد	
استاد ناظر	دکتر رسول صراف مأموری	دانشیار	

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته مهندسی مواد-سرامیک است که در سال ۱۳۸۹ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر احسان طاهری نساج مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب حجیه بسطامی دانشجوی رشته مهندسی مواد- سرامیک مقطع دکتری

تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: حجیه بسطامی

تاریخ و امضا: ۱۳۸۷۹۸/۱۱/۳۰

آیین‌نامه حق مالکیت مادي و معنوي در مورد نتایج پژوهشهاي علمي دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: **با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:**

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب حجیه بسطامی دانشجوی رشته مهندسی مواد- سرامیک ورودی سال تحصیلی۱۳۸۳ مقطع دکتری دانشکده فنی و مهندسی متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا حجیه بسطامی

تاریخ: ۱۳۸۹/۱۱ /۳۰

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

رساله برای دریافت درجه دکتری

رشته مهندسی متالورژی و مواد-گرایش سرامیک

تأثیر اکسید ساماریوم بر ریزساختار و خواص الکتریکی وریستورهای بر پایه اکسید قلع، تهیه شده از نانو پودرهای سنتز شده به روش هم رسوبی

نگارنده

حجیه بسطامی

استاد راهنما

دکتر احسان طاهری نساج

زمستان ۱۳۸۹

بسم رب الشهداء و الصدیقین

به یاد تمام عزیزانی که عاشقانه جانشان را در راه اعتلاء و سرافرازی این مرز و بوم اسلامی در طبق اخلاص

گذاشتند و با یاد و خاطره برادر شهید مهندس بابک شاه بهرامی

تقدیم به

استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر طاهری نساج

پدر و مادر مهربان و عزیزم،

همسر گرامیم جناب آقای مهندس بهروز شاه بهرامی،

برادران و خواهران عزیزم

و فرشته کوچک و دختر نازنینم، فاطمه خانم.

تشکر و قدردانی

با تشکر و قدردانی فراوان از جناب آقای دکتر طاهری نساج که در تمامی مراحل رساله از مساعدت در فراهم آوردن امکانات، اجرای پروژه و راهنمایی های علمی دریغ نورزیده اند. امیدوارم که در تمامی مراحل زندگی در پناه ایزد یکتا موفق باشند.

از دوستان دانشگاه گنت کمال تشکر و امتنان دارم که در انجام تست TEM خالصانه کمک کردند و به من درس بزرگی آموختند.

از جناب آقای پروفسور اسدی که در تفسیر نتایج آنالیز TEM کمک فراوان نمودند تشکر و سپاس فراوان دارم. از خداوند برای ایشان آرزوی بهروزی و توفیق روز افزون دارم.

همچنین از همسرم، جناب آقای مهندس بهروز شاه بهرامی تشکر بسیار دارم که شرایط را به گونه ای فراهم کردند که اینجانب با انگیزه و امید فراوان، تمام تلاش خود را برای انجام مطلوب رساله معطوف نمودم. همچنین از ایشان به جهت حمایت های مالی سپاس فراوان دارم. از خداوند متعال توفیق روزافزون و سلامتی و عاقبت به خیری را برای ایشان آرزومندم.

زبان از گفتن جمله یا جملاتی که بتواند عشق و علاقه والدین برای ادامه پیشرفت فرزندشان بیان کند قاصر است. فقط می توانم اقرار کنم که پدر و مادر عزیزم من همیشه شرمنده شما هستم و از این که لحظاتی که می بایست، نتوانستم در کنارتان باشم عذرخواهی می کنم. از خداوند منان برای شما آرزوی سلامتی و عاقبت به خیری دارم.

از خواهران و برادرانم عزیزم که با ایجاد انگیزه کافی برای انجام رساله و حمایت های معنوی لحظه ای اجازه ندادند که کوچکترین نگرانی در من ایجاد شود سپاس فراوان دارم. امیدوارم که در تمام لحظات زندگی از بزرگترین نعمت ها و بهترین الطاف خداوندی بهره مند شوند.

از خانواده محترم همسرم کمال تشکر و قدردانی را دارم که مرا به مثابه فرزندشان مورد لطف وحمایت خود قرار دادند.

قدر دان و سپاسگزار یکایک معلمان ارجمندم از دوران ابتدایی تاکنون می باشم که همواره هدایت گر و مشوق اینجانب بوده اند. از معلم بزرگوارم سرکار خانم شوهانی کمال تشکر را دارم. ایشان به راستی الگوی بزرگی برایم بوده و هستند.

از خانم ها آزاد، کریمی، منصوری و ابراهیمی بسیار سپاسگزارم که مشوقم بوده اند.

از سرکار خانم دکتر پروین علیزاده به خاطر مساعدت در فراهم آوردن امکانات آزمایشگاهی سپاسگزارم.

از اساتید بزرگوار دانشگاه بین المللی امام خمینی کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم که دلسوزانه زمینه بسیار مناسبی را برای ادامه تحصیلات تکمیلی دانشجویان در مقطع تحصیلات تکمیلی به صورت بسیار مناسبی فراهم آورده اند.

علی رغم دوری از خانواده ام، خداوند دوستانی را نصیب من کرده که همواره مانند خواهرانی دلسوز در کنار من بوده اند. از دوستان عزیزم سرکار خانم کانطوری و خانم های دکتر نرجس باقری، زهرا خاکپور، لیلا پروانه، پروانه نیک پور، هاجر قنبری، بهناز سعیدی و دوست بسیار عزیزم خانم دکتر یساول تشکر فراوان دارم که علی رغم دغدغه کاری فراوان، همواره در کنارم بودند.

از جناب آقای پروفسور کشت کار، دکتر کوکبی، دکتر بهرامیان و مهندس اسماعیلی تشکر و سپاس فراوان دارم که زمان بسیار زیادی جهت فراهم نمودن امکانات لازم برای انجام کارهای آزمایشگاهی صرف کردند قدردانی و تشکر دارم.

از جناب آقای دکتر ابراهیمی و نیز سرکار خانم مهندس مهناز شریعتی که در آنالیزهای الکتریکی کمک شایانی نمودند، تشکر و سپاس فراوان دارم.

از دوستان عزیزم سرکار خانم دکتر رئوفی، آقای مهندس ربیعی، سرکار خانم های مهندس وفا رستمی، ربیعی ، فتحی، سرکار خانم کانطوری و خانم های دکتر سارا بنی جمالی، مریم شجاعی، زهرا عرب گل، آزادی، فرنوش اسمعیلی، نسترن ریاحی، سارا خمسه، سرکار خانم های مهندس شاه بهرامی، جوزی، نادمی، صالحی، جبلی، پاشاییف غفاری و نیز خانم مهرداد تشکر و سپاس فراوان دارم که از هیچ کمکی دریغ نکردند.

از اساتید و دوستان پژوهشگاه مواد و انرژی کرج که در انجام بخشی از آنالیزها مساعدت نمودند سپاسگزارم.

از دوستان پژوهشگاه صنایع رنگ ایران تشکر و قدردانی می نمایم.

از دوستان بخش آنالیز XRD، آقایان مهندس صفاری و یوسفی و همچنین سرکار خانم فردین دوست کمال تشکر را دارم.

از آقای دکتر جباره به علت تهیه و تنظیم تصاویر مربوط به رساله و مقالات تشکر و سپاس فراوان دارم. از آقایان دکتر صداقت، هادی، اجاقی، صائب نوری، عبدلی، جعفرنژاد، وزیری، سعید، نیکو منش و بزرگ تشکر و قدردانی می نمایم.

از دوستان آزمایشگاه عمومی مواد سرکار خانم مهندس فرهنگیان و آقای فیروزی کمال تشکر را دارم.

از پرسنل پژوهشگاه انرژی آقای مهندس ابیضی و یگانه و نیز پرسنل برقگیر پارس، به ویژه آقای مهندس کیوان داریان تشکر و قدردانی می کنم.

چکیده

تأثیر اکسید ساماریوم (Sm_2O_3) بر رفتار سینتر، ریزساختار و خواص الکتریکی وریستورهای بر پایه اکسید قلع برای اولین بار در جهان و همچنین در سطح ملی مطرح شد. به همین منظور، تأثیر مقادیر مختلف مولی Sm_2O_3 بر خواص الکتریکی و ریزساختار وریستورهای بر پایه اکسید قلع، تهیه شده به روش مخلوط کردن اکسیدی مورد بحث و بررسی قرار گرفت. سپس به منظور ایجاد توزیع مناسب افزودنی های مورد استفاده و بهبود ریزساختار و خواص الکتریکی این وریستورها، از نانو پودرهای تهیه شده به روش هم رسوبی شیمیایی جهت ساخت قرص های وریستوری استفاده شد. متوسط اندازه بلورک ها برای نانو پودر SnO_2، دوپ شده با Nb، Co و Sm، سنتز شده به روش هم رسوبی شیمیایی، کلسینه شده در دمای ۷۰۰°C، به مدت ۲ h، ۱۰ nm بود. تصویر SEM حضور ذرات کروی در محدوده ۴۵-۷۰ nm را آشکار ساخت. الگوهای XRD تنها حضور فاز بلوری SnO_2، با ساختار تتراگونال را برای نسبت های مختلف اکسید ساماریوم شناسایی کردند. نقش Sm_2O_3 در کاهش اندازه بلورک های نانو پودرهای اکسید قلع، برای اولین بار مطرح شد. قرص های وریستوری به روش سینتر بدون فشار و با استفاده از پودر سنتر شده به روش هم رسوبی شیمیایی تهیه و توسط آنالیز های XRD، SEM، EDS، TEM، SAD، نقشه های پرتو X و I-V مورد بررسی قرار گرفتند. افزودنی Sm_2O_3 ضمن به تأخیر انداختن فرآیند سینتر، از رشد سریع دانه ها در مرحله آخر سینتر جلوگیری به عمل آورد. Sm_2O_3 علاوه بر جلوگیری از رشد دانه ها در حین فرآیند سینتر و بهبود ریزساختار، سبب بهبود خواص الکتریکی غیر خطی وریستورهای بر پایه اکسید قلع شد. مقادیر ضریب غیر خطی و میدان الکتریکی شکست وریستورهای با ترکیب $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5$، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ ℃، به ترتیب ۱۲ و ۵۹۲۰ Vcm^{-1} بود. با افزودن ۰/۰۵ $mol\ \%\ Sm_2O_3$، مقادیر مذکور به ترتیب به ۳۸ و ۱۴۳۰۰ Vcm^{-1} افزایش یافتند. بررسی های ریزساختاری TEM و نقشه پرتو X نشان داد که توزیع نئوبیوم بسیار یکنواخت بوده و هیچ گونه تجمعی از Nb در ریزساختار ملاحظه نگردید. کبالت علاوه بر حضور در داخل دانه ها، در برخی نقاط سه گانه تجمع کرد. الگوی پراش الکترونی به دست آمده برای منطقه غنی از کبالت، حضور یک ساختار بلوری در این منطقه را نشان داد که با هیچ کدام از ترکیبات کبالت هم خوانی نداشت. ساماریوم نیز همانند کبالت، علاوه بر حضور در داخل دانه، در برخی از مرزدانه ها تجمع کرد. ضخامت منطقه غنی از ساماریوم ۶۵ nm بود. الگوی پراش الکترونی به دست آمده برای منطقه غنی از ساماریوم، حضور یک ساختار بلوری را در این منطقه نشان داد که به ساختار بلوری Sm_2SnO_5 نزدیک بود. حلالیت جزیی ساماریوم در شبکه SnO_2 و سپس جدایش آن در مرزدانه و تشکیل یک فاز مرزدانه ای غنی از ساماریوم سبب بهبود ضریب غیر خطی و میدان الکتریکی شکست ترتیب به ۳۸ و Vcm^{-1} ۱۴۳۰۰ گردید. فازهای دوم تشکیل شده در مرزدانه دارای اندازه نانو بودند.

کلید واژه: وریستور؛ اکسید قلع؛ نانو پودر؛ اکسید ساماریوم؛ هم رسوبی شیمیایی؛ سنتز؛ سینتر بدون فشار؛ TEM؛ محلول جامد؛ خواص الکتریکی؛ مشخصه غیر خطی

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

فصل دوم: پیشینه پژوهشی ۶

۲-۱- معرفی وریستور ۷

۲-۲- وریستورهای بر پایه اکسید قلع ۹

۲-۳- مقایسه وریستورهای بر پایه اکسید روی و اکسید قلع، مزایا و محدودیت ها ۱۲

۲-۴- ریزساختار وریستورهای بر پایه اکسید قلع ۱۴

۲-۵- تأثیر اکسیدهای کمیاب خاکی بر ریزساختار و خواص الکتریکی وریستورهای بر پایه اکسید قلع ۱۷

۲-۶- رفتار غیرخطی وریستورهای بر پایه اکسید قلع ۳۱

۲-۷- نانو فناوری و مسائل مربوط به سینتر نانو پودهای سرامیکی ۳۸

۲-۸- اهمیت استفاده از نانو پودرها در تهیه و ساخت وریستورها ۳۹

۲-۹- روش های سنتز نانو پودرهای اکسید قلع ۴۰

۲-۹-۱- روش پکینی ۴۰

۲-۹-۲- روش هم رسوبی ۴۲

۲-۱۰- ساز و کار روش هم رسوبی ۴۳

۲-۱۱- سینتر حالت جامد ۴۵

۲-۱۲- نقش افزودنی ها در جلوگیری از رشد دانه و تأثیر آن ها بر فرآیند سینتر ۴۵

۲-۱۳- تعریف مسأله و ضرورت انجام پژوهش ۴۶

فصل سوم: روش پژوهش تجربی ۴۹

۳-۱- پودر ۵۱

۳-۱-۱- مشخصات مواد اولیه ۵۱

۳-۱-۲- فرآیند سنتز پودر ۵۲

۳-۱-۳- تعیین مشخصات پودر ۵۴

۳-۲- فرآیند تهیه و ساخت قرص های وریستوری ۵۶

۳-۲-۲- آنالیزهای انجام شده بر روی قرص های سینتر شده ۵۹

۳-۲-۳- اندازه گیری ها ۵۹

فصل چهارم: یافته ها و سگالش ۶۲

۴-۱- وریستورهای تهیه شده به روش مخلوط اکسیدی با استفاده از نانوپودر اکسید قلع ۶۳

۴-۱-۱- تأثیر اکسید ساماریوم بر خواص الکتریکی و ریزساختار وریستورهای بر پایه اکسید قلع ۶۳
۴-۱-۲- نقش افزودنی های مختلف بر پارامتر شبکه و تشکیل محلول جامد با استفاده از آنالیز XRD ۶۹
۴-۲- ساخت وریستورهای تهیه شده از نانو پودرهای سنتز شده به روش هم رسوبی ۷۳
۴-۲-۱- فرآیند سنتز ۷۳
۴-۲-۲- تهیه و ساخت وریستورهای بر پایه اکسید قلع ۸۵
۴-۳- مقایسه خواص الکتریکی وریستورهای بر پایه اکسید قلع، دوپ شده با ساماریوم، تهیه شده به روش مرسوم مخلوط اکسیدی و نیز تهیه شده با استفاده از نانوپودرهای سنتز شده به روش هم رسوبی با کارهای پژوهشی دیگر ۱۱۹
۴-۴- سهم و مشارکت رساله در مرزهای دانش ۱۲۱
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۲۳
نتیجه گیری ۱۲۴
پیشنهادها ۱۲۵
مراجع ۱۲۶
واژه نامه فارسی به انگلیسی ۱۴۳
واژه نامه انگلیسی به فارسی ۱۴۴

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱: مشخصه میدان الکتریکی-جریان برای یک سرامیک واریستوری ۸

شکل ۲-۲: تصویر مقایسه ای SEM مربوط به واریستورهای بر پایه اکسید قلع (a) و اکسید روی (b) ۱۵

شکل۲-۳: تصویر SEM مربوط به سرامیک های SnO_2 دوپ شده با ۰/۵ $mol\ \%\ CoO$، سینتر شده در دمای $^{\circ}C$ ۱۴۰۰ به مدت h ۱، تهیه شده به وسیله وارلا و همکاران ۱۵

شکل۲-۴: تصویر TEM مربوط به سرامیک های SnO_2 دوپ شده با ۰/۵ $mol\ \%\ CoO$، سینتر شده در دمای $^{\circ}C$ ۱۴۰۰ به مدت h ۱ ، تهیه شده به وسیله وارلا و همکاران ۱۶

شکل۲-۵: حضور فاز رسوبی Co_2SnO_4 در نقطه سه گانه در سیستم واریستوری $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5 + Fe_2O_3$ تهیه شده به وسیله پارا و همکاران ۱۶

شکل ۲-۶: تصویر TEM مربوط به سیستم $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5 + Fe_2O_3$ تهیه شده به وسیله پارا و همکاران ۱۷

شکل ۲-۷: تصاویر SEM از نمونه‌های سینترشده در دماهای مختلف و مقادیر مختلف افزودنی، سنتزشده توسط زانگ و همکاران ۱۹

شکل۲-۸: تصویر SEM مربوط به سیستم‌های واریستوری بر پایه اکسید قلع دوپ شده با اکسیدهای خاکی کمیاب مختلف، تهیه شده توسط الیویرا و همکاران ۲۰

شکل ۲-۹: تصویر TEM مربوط به سیستم دوپ شده با La_2O_3، تهیه شده توسط الیویرا و همکاران ۲۱

شکل ۲-۱۰: تصویر TEM مربوط به سیستم دوپ شده با Pr_2O_3، تهیه شده توسط الیویرا و همکاران ۲۲

شکل ۲-۱۱: تصاویر SEM مربوط به نسبت های مولی مختلف Pr_2O_3، سینتر شده در $^{\circ}C$ ۱۳۰۰ به مدت h۱، تهیه شده به وسیله ونگ و همکاران ۲۳

شکل ۲-۱۲: تصویر SEM مربوط به سیستم واریستوری $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5$، دوپ شده با مقادیر مختلف مولی Dy_2O_3، تهیه شده به وسیله ونگ و همکارن ۲۵

شکل ۲-۱۳: تصویر TEM (تصویر a) و آنالیز EDS (b)، مربوط به سیستم وریستوری $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5$، دوپ شده با ۱mol % Dy_2O_3، تهیه شده به وسیله ونگ و همکارن ۲۶

شکل ۲-۱۴: تصویرSEM مربوط به سیستم دوپ شده با Y_2O_3، تهیه شده توسط پارا و همکاران ۲۷

شکل ۲-۱۵: تصویرTEM مربوط به سیستم دوپ شده با Y_2O_3، تهیه شده توسط پارا و همکاران ۲۸

شکل ۲-۱۶: الگوی پراش الکترونی مربوط به سیستم دوپ شده با Y_2O_3، تهیه شده توسط پارا و همکاران ۲۸

شکل ۲-۱۷: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به وریستورهای دوپ شده با مقادیر مختلف افزودنی La_2O_3 ..... ۳۰

شکل۲-۱۸: مدل عیب اتمی برای وریستورهای پلی کریستال اکسید روی، ارائه شده توسط گاپتا و کارسون ۳۴

شکل ۲-۱۹: مدل پیشنهادی توسط بوئنو و همکارانش جهت تشکیل سد پتانسیل در وریستورهای بر پایه اکسید قلع ۳۵

شکل ۲-۲۰:دیاگرم شماتیکی پودر آگلومره ۳۸

شکل ۲-۲۱: تصویر SEM مربوط به ترکیب های مختلف (مطابق جدول) وریستورهای تهیه شده از پودرهای سنتز شده به روش پکینی، سینتر شده در دمای ۱۳۰۰ °C، به مدت ۲ h، تهیه شده به وسیله پارا و همکاران ۴۰

شکل۲-۲۲: تصاویر SEM مربوط به وریستورهای تهیه شده به دو روش هم رسوبی و پکینی برای مقادیر مختلف مولی از اکسید آلومینیوم، (a) ۰/۱ mol % Al_2O_3 (b) ۰/۲ mol % Al_2O_3، تهیه شده توسط ماسکورا و همکاران ۴۲

شکل۲-۲۳: مراحل مختلف سینتر: (a) مرحله اول سینتر؛ (b) انتهای مرحله اول، رشد گردنه و نزدیک شدن جزیی مراکز به یکدیگر با انقباض حدود ۴ %؛ (c) مرحله دوم سینتر؛ (d) مرحله آخر سینتر ۴۵

شکل ۳-۱: مراحل کلی فعالیت های انجام شده در رساله حاضر ۴۹

شکل ۳-۲: مراحل کلی تهیه پودر سنتزشده به وسیله ۵۰

شکل ۳-۳: مراحل تهیه قرص های وریستوری، تهیه شده از پودرهای سنتز شده به روش هم رسوبی شیمیایی ۵۳

شکل ۳-۴: مراحل کلی تهیه قرص های وریستوری، تهیه شده به وسیله سینتر بدون فشار ۵۷

شکل ۴-۱: الگوی پراش پرتو X مربوط به نمونه دوپ شده با $mol\ \%\ Sm_2O_3$ ۰/۰۵، خشک شده در دمای ۶۰ °C، کلسینه شده در دماهای مختلف ۶۳

شکل ۴-۲: الگوی پراش پرتو X مربوط به ژل خشک شده در دمای ۶۰ °C، دوپ شده با $mol\ \%\ Sm_2O_3$ ۰/۰۵ ..... ۶۴

شکل۴-۳: الگوی پراش پرتو X مربوط به ژل خشک شده در دمای محیط دوپ شده با $mol\ \%\ Sm_2O_3$ ۰/۰۵ ..... ۶۵

شکل۴-۴: آنالیز TG/DTA مربوط به نمونه دوپ شده با $mol\ \%\ Sm_2O_3$ ۰/۰۵خشک شده در دمای ۶۰ °C ۶۸

شکل ۴-۵: الگوی پراش پرتو X مربوط به نمونه های SnO_2 خالص (کد ۱)، $SnO_2 + CoO$ (کد ۲)، $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5$ (کد ۳) و $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5 + Sm_2O_3$ دوپ شده با $mol\ \%\ Sm_2O_3$ ۰/۵۰(کد ۷)، کلسینه شده در دمای ۷۰۰ °C، به مدت ۲ h ۷۴

شکل ۴-۶: طیف FTIR مربوط به SnO_2 خالص و SnO_2 دوپ شده با افزودنی های Co، Nb و Sm، خشک شده در ۶۰ °C ۷۶

شکل ۴-۷: تصویر SEM مربوط به نمونه ترکیب $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5 + Sm_2O_3$ دوپ شده با $mol\ \%\ Sm_2O_3$ ۰/۰۵، خشک شده در دمای ۶۰ °C ، به مدت ۴۸ h (a)، تصویر SEM مربوط به نمونه ذره A، در بزرگنمایی بالا (b) ۷۹

شکل ۴-۸: تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به نمونه ترکیب $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5 + Sm_2O_3$ دوپ شده با $mol\ \%\ Sm_2O_3$ ۰/۰۵، کلسینه شده در دمای ۷۰۰ °C، به مدت ۲ h، پس از آسیاب و التراسونیک به مدت یک ساعت ۷۹

شکل ۴-۹: آنالیز EDS مربوط به پودر سنتز شده با ترکیب $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5 + Sm_2O_3$ دوپ شده با $mol\ \%\ Sm_2O_3$ ۰/۵، کلسینه شده در دمای ۷۰۰ °C، به مدت ۲ h ۸۱

شکل ۴-۱۰: الگوی XRD مربوط به نانو پودر مربوط به نمونه SCNSm، سنتزشده توسط هم رسوبی شیمیایی، کلسینه شده در دمای ۷۰۰ °C، به مدت ۲ h ۸۲
شکل ۴-۱۱: تصویر SEM مربوط به قرص خالص، تهیه شده به وسیله سینتر بدون فشار، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ °C، به مدت ۱ h، تهیه شده از نانو پودر سنتز شده SnO_2 به روش هم رسوبی ۸۳
شکل ۴-۱۲: الگوی XRD مربوط به نمونه های SCN (بدون ساماریوم) و SCNSm (دوپ شده با Sm_2O_3 ۰/۰۵)، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ °C با سرعت حرارت دهی ۳ °C/min، به مدت ۱ h، تهیه شده از نانو پودر سنتز شده به روش هم رسوبی ۸۴
شکل ۴-۱۳: تصویر SEM مربوط به دو نمونه های SCN (بدون ساماریوم) و SCNSm (دوپ شده با Sm_2O_3 ۰/۰۵)، سینتر شده در دماهای ۹۰۰، ۱۰۰۰، ۱۱۰۰ و ۱۲۰۰ °C با سرعت حرارت دهی ۳ °C/min، به مدت ۱ h، در بزرگ نمایی ۲۰۰۰۰X، تهیه شده از نانو پودرهای سنتز شده به روش هم رسوبی ۸۷
شکل ۴-۱۴: تأثیر دمای سینتر بر چگالی نسبی و متوسط اندازه دانه در نمونه های SCN (بدون ساماریوم) و SCNSm (دوپ شده با Sm_2O_3 ۰/۰۵)، تهیه شده از نانو پودرهای سنتز شده به روش هم رسوبی ۸۸
شکل ۴-۱۵: تصویر SEM مربوط به سطح شکست نمونه SCN سینتر شده در دمای ۹۰۰ °C با سرعت حرارت دهی ۳ °C/min، به مدت ۱ h، در بزرگ نمایی ۱۰۰۰۰X ۹۰
شکل ۴-۱۶: تصویر SEM از سطح شکست نمونه SCNSm، سینتر شده در دمای ۹۰۰ °C با سرعت حرارت دهی ۳ °C/min، به مدت ۱ h، در بزرگ نمایی ۱۰۰۰۰X ۹۲
شکل۴-۱۷: تصویر SEM مربوط به سطح شکست نمونه SCN، سینتر شده در دمای ۱۱۰۰ °C با سرعت حرارت دهی ۳ °C/min، به مدت ۱ h، در بزرگ نمایی ۲۰۰۰X ۹۴
شکل ۴-۱۸: نمودار متوسط اندازه دانه بر حسب چگالی نسبی مربوط به نمونه های SCN و SCNSm سیتر شده در دماهای مختلف ۹۷

شکل ۴-۱۹: تصویر SEM مربوط به سطح شکست نمونه SCN، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ °C با سرعت حرارت دهی ۳ °C/min، به مدت ۱ h، تهیه شده از نانو پودر سنتز شده به روش هم رسوبی، در بزرگنمایی ۱۰۰۰۰X ۹۷

شکل۴-۲۰: تصویر SEM مربوط به سطح شکست نمونه نمونه SCNSm، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ °C با سرعت حرارت دهی ۳ °C/min، به مدت ۱ h، تهیه شده از نانو پودر سنتز شده به روش هم رسوبی، در بزرگنمایی ۴۰۰۰X ۹۹

شکل ۴-۲۱: آنالیز EDS مربوط به نمونه SCNSm، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ °C، به مدت ۱ h ۱۰۱

شکل ۴-۲۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری مربوط به نمونه SCNSm، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ °C، به مدت ۱ h ۱۰۳

شکل ۴-۲۲: تصویر TEM (a) و همچنین نقشه های پرتو X مربوط به نمونه SCNSm، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ °C، به مدت ۱ h ۱۰۳

شکل ۴-۲۳: تصویر TEM و الگوی پراش الکترونی منطقه غنی از کبالت، مربوط به نمونه SCNSm، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ °C، به مدت ۱ h ۱۰۴

شکل ۴-۲۴: تصویر میدان روشن و همچنین میدان تاریک مربوط به منطقه غنی از ساماریوم، مربوط به نمونه SCNSm، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ °C، به مدت ۱ h ۱۰۵

شکل ۴-۲۵: تصویر میدان روشن و همچنین الگوهای پراش الکترونی منطقه غنی از ساماریوم، مربوط به نمونه SCNSm، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ °C، به مدت ۱ h ۱۰۷

شکل ۴-۲۶: انواع اتصال های به وجود آمده در ریزساختار وریستور SCNSm، سینتر شده در دمای ۱۲۰۰ °C، به مدت ۱ h، تهیه شده از نانو پودر سنتزی توسط روش هم رسوبی با استفاده از تصویر میدان روشن و نقشه های پرتو X مربوط به Sn، Nb، Co و Sm ۱۱۱

شکل ۴-۲۷: مدل عیب اتمی جهت ایجاد سد پتانسیل الکتریکی در مرزدانه، برای وریستورهای بر پایه اکسید قلع، دوپ شده با اکسید ساماریوم ۱۱۵

فهرست جدول ها

جدول ۲-۱: مشخصه غیر خطی برخی از سیستم های وریستوری بر پایه اکسید قلع ۱۲

جدول ۲-۲: ضریب غیر خطی و ولتاژ شکست سیستم های مختلف اکسید قلع، دوپ شده با اکسیدهای کمیاب خاکی ۱۳

جدول۲-۳: مقایسه خواص الکتریکی و نوع فازهای تشکیل دهنده در وریستورهای بر پایه اکسید روی و اکسید قلع ۱۸

جدول ۲-۴: نتایج مربوط به چگالی نسبی، متوسط اندازه دانه، ضریب غیرخطی و ولتاژ شکست وریستورهای تهیه شده به وسیله ونگ و همکاران ۲۳

جدول ۲-۵: مقادیر مربوط به متوسط اندازه دانه، چگالی نسبی، ضریب غیر خطی و ولتاژ شکست مربوط به سیستم وریستوری $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5$، دوپ شده با مقادیر مختلف مولی Dy_2O_3، تهیه شده به وسیله ونگ و همکارن ۲۵

جدول ۲-۶: مقادیر چگالی نسبی، متوسط اندازه دانه و مشخصه های الکتریکی وریستورهای $SnO_2 + CoO + Nb_2O_5$ دوپ شده با مقادیر مختلف Y_2O_3، تهیه شده توسط پارا و همکاران ۲۷

جدول۲-۷: مقادیر مربوط به دانسیته نسبی، ولتاژ شکست، ضریب غیرخطی و متوسط اندازه دانه وریستورهای SnO_2 دوپ‌شده با CoO، ZnO، Ta_2O_5، La_2O_3، سنتز شده توسط سیلوا و همکارن ۲۹

جدول۲-۸: خواص فیزیکی به دست آمده برای وریستورهای تهیه شده به وسیله پارا و همکاران ۴۰

جدول ۳-۱: مشخصات مواد اولیه مورد نیاز جهت سنتز نانوپودر به روش هم رسوبی ۵۱

جدول ۴-۱: درصد مولی و همچنین کد پودرهای سنتز شده به روش هم رسوبی شیمیایی ۶۶

جدول ۴-۲:تأثیر دمای کلسیناسیون بر اندازه بلورک، در نمونه با ترکیب $۹۸.۹۰\ SnO_2 + ۱.۰۰\ CoO + ۰.۰۵\ Nb_2O_5 + ۰.۰۵\ Sm_2O_3 (mol\ \%)$، تهیه شده به روش هم رسوبی ۷۰

جدول ۴-۳: تأثیر افزودنی های Co، Nb و Sm بر اندازه بلورک ها در نمونه های کلسینه شده در دمای $۷۰۰\ ^\circ C$، به مدت $۲\ h$ ۷۴

جدول ۴-۴: ترکیب و درصد مولی مربوط به قرص های سینتر شده در دمای $۱۲۰۰\ ^\circ C$، به مدت $۱\ h$، تهیه شده از نانو پودر سنتزی توسط روش هم رسوبی جهت آنالیز FTIR ۷۵

جدول ۴-۶: مقایسه مشخصه های غیر خطی وریستور تهیه شده با دوپ شده با Sm_2O_3 ، تهیه شده به روش هم رسوبی و با کارهای پژوهشی دیگر ۱۱۸

مقدمه