



جمهوری اسلامی ایران

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شورای گسترش و برنامه ریزی آموزش عالی

برنامه درسی

رشته: مهندسی مواد و متالورژی

گرایش الکترو سرامیک

دوره: کارشناسی ارشد ناپیوسته

گروه: فنی و مهندسی



براساس مصوبه جلسه شماره ۹۴ شورای گسترش و برنامه ریزی آموزش عالی در

تاریخ ۱۳۹۷/۱۲/۱۹ به تصویب رسید.

عنوان گرایش: الکتروسرامیک

نام رشته: مهندسی مواد و متالورژی

دوره تحصیلی: کارشناسی ارشد ناپیوسته

گروه: فنی و مهندسی

نوع مصوبه: تدوین

کارگروه تخصصی: مواد و متالورژی

تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۲/۱۹

پیشنهادی دانشگاه: شیراز

به استناد آیین نامه واگذاری اختیارات برنامه ریزی درسی مصوب جلسه شماره ۸۸۲ تاریخ ۱۳۹۵/۱۱/۲۳ شورای عالی برنامه ریزی آموزش عالی، برنامه درسی تدوین شده دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته مهندسی مواد و متالورژی گرایش الکتروسرامیک طی نامه شماره ۹۷۳/۱۰/۹۸۸۴ تاریخ ۱۳۹۷/۰۸/۰۷ از دانشگاه شیراز دریافت شد و در جلسه شماره ۹۱۴ تاریخ ۱۳۹۷/۱۲/۱۹ شورای گسترش و برنامه ریزی آموزش عالی به شرح زیر تصویب شد:

ماده یک- این برنامه درسی برای دانشجویانی که از مهر ماه سال ۹۸ وارد دانشگاه ها و مراکز آموزش عالی می شوند، قابل اجرا است.

ماده دو- این برنامه درسی در سه فصل: مشخصات کلی، جدول های واحدهای درسی و سرفصل دروس تنظیم شده است و به تمامی دانشگاه ها و مؤسسه های آموزش عالی کشور که مجوز پذیرش دانشجو از شورای گسترش و برنامه ریزی آموزشی و سایر ضوابط و مقررات مصوب وزارت علوم، تحقیقات و فناوری را دارند، برای اجرا ابلاغ می شود.

ماده سه- این برنامه درسی از شروع سال تحصیلی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به مدت ۵ سال قابل اجرا است و پس از آن نیاز به بازنگری دارد.

دکتر مجتبی شریعتی نیاسر

دبیر شورای گسترش و برنامه ریزی آموزش عالی

دکتر محمدرضا آهنگیان کمیسیون

دبیر کمیسیون برنامه ریزی آموزشی





مشخصات کلی، برنامه درسی و سرفصل دروس

دوره

کارشناسی ارشد

در رشته

مهندسی مواد گرایش الکتروسرامیک



دانشکده مهندسی

مصوب جلسه شورای دانشگاه مورخ ۸۴/۴/۲۵



دکتر علیرضا افشاریفر

معاون آموزشی دانشگاه شیراز

۱
انگیزه

فصل ۱

مشخصات کلی

دوره تحقیقاتی کارشناسی ارشد گرایش الکتروسرامیک

۱- تعریف و هدف:

گرایش الکتروسرامیک یک گرایش بین رشته ای فی مابین رشته های مهندسی مواد، فیزیک و مهندسی برق می باشد. در این گرایش هدف بر آن است که دانشجو با مفاهیم و اصول مرتبط با خواص فیزیکی سرامیک ها مانند خواص الکتریکی، الکترونیکی، مغناطیسی و نوری و همچنین روش سنتز آنها آشنا شود به گونه ای که بتوانند سرامیکهایی را طراحی و سنتز نمایند که کاربردهای ویژه ای در صنایع دارای تکنولوژی بالا (High Tech) داشته باشند.

۲- طول دوره و شکل نظام:

طول مدت لازم برای اتمام این دوره به طور متوسط ۲ سال است. حداقل این مدت و حداکثر مدت مجاز برای اتمام این دوره مطابق آیین نامه دوره کارشناسی ارشد می باشد. نظام آموزش آن واحدی است و دروس در ۴ نیمسال ارائه می شود. زمان هر نیمسال ۱۶ هفته است و مدت تدریس یک واحد نظری ۱۶ ساعت و عملی ۲۲ ساعت است.

۳- نقش و توانایی:

همانطور که بیان شد دانش آموختگان این دوره توانایی طراحی و ساخت سرامیک هایی با خواص ویژه الکتریکی الکترونیکی، مغناطیسی و نوری را خواهند داشت. نقش دانش آموختگان این گرایش در صنایع با تکنولوژیهای بالا غیر قابل انکار می باشد در حال حاضر قطعات و تجهیزات الکترونیکی بسیار پیچیده در ابزارهای کنترل دقیق صنایع مختلف و همچنین محصولات متفاوتی که به بازار مصرف عرضه می شود بکار گرفته می شود و کشوری در این زمینه موفق است که زیر ساختهای مناسب برای ساخت و توسعه این تجهیزات از جمله نیروی انسانی لازم را تامین کرده باشد.

۴- تعداد و نوع واحدهای درسی:

تعداد واحدهای درسی این دوره ۲۸ واحد به شرح زیر است:

دروس اجباری: ۱۲ واحد

دروس انتخابی: ۱۰ واحد

پروژه تحقیقاتی و رساله: ۶ واحد

دروس جبرانی: ۶

جمع واحدهای موثر در معدل: ۲۸ واحد



- ضرورت و اهمیت :

با توجه به اهمیت مواد پیشرفته در ساخت سیستم های مورد استفاده در صنایع مختلف، گرایش هایی جدید که در آنها ساخت قطعات پیشرفته مد نظر باشد الزامی است. این رسالت می تواند توسط دانش آموختگان آشنا با فیزیک حالت جامد و مهندسی مواد انجام گردد. برای تولید دانش مواد پیشرفته، سیستم های تخصصی در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری تدوین گردد تا تحقیق و تدریس در زمینه های مورد نیاز به طور مستمر و فراگیر باشد. یکی از شاخه های مهم مواد پیشرفته، الکتروسرامیک ها هستند. قطعات الکتروسرامیک دارای کاربرد های فراوان در صنایع نوین و به روز دنیا می باشند. در چند دانشگاه ایران گرایش سرامیک تا مقطع دکتری وجود دارد، اما درس



ها، سمینارها و رساله های دانشجویان بیشتر در زمینه سرامیک های مرسوم و سنتی نظیر نوسرها، سرامیک های صنعتی، المنت ها، الکترودها و خواص مکانیکی سرامیک ها می باشد. از این رو تاسیس یک گرایش جدید مرتبط با سرامیک ها در مقطع کارشناسی ارشد که در آن به طور خاص آموزش دانش و تکنولوژی سرامیک های الکترونیکی پرداخته شود ضروری می باشد.

۶- ارتباط دوره با سایر دوره های تحقیقاتی :

گرایش الکتروسرامیک یک گرایش بین رشته ای، بین رشته مهندسی مواد (سرامیک) و سایر رشته ها همچون مهندسی برق، فیزیک و شیمی می باشد. کاربردهایی مانند مواد مورد استفاده در صنایع الکترونیک، ماکروویو، مخابرات، ذخیره سازی انرژی (باتری ها)، پیل های سوختی، مغناطیس های سخت و نرم، مواد جاذب اشعه، آنتن ها، کاتالیزورها، سلول های خورشیدی، دیودهای نشر نور و سایر موارد همگی مثال هایی هستند که بیانگر ارتباط بین این دوره و سایر رشته های دانشگاهی و مباحث تحقیقاتی بوده و اهمیت آن را مشخص می نماید.

بنابراین دانشجویان این گرایش همان گونه که در لیست دروس نیز آمده است علاوه بر آشنایی با خواص فیزیکی مواد به ویژه سرامیک ها می باید با مباحثی از رشته فیزیک نیز آشنایی کافی داشته باشند. فارغ التحصیلان این گرایش هم اینک در مراکزی همچون صنایع الکترونیک، صنایع اپتیک و صنایع قطعات الکترونیکی مشغول به کار می باشند.



فصل دوم

برنامه



دروس اجباری

کد درس	نام درس	تعداد واحد	ساعت			پیش نیاز یا زمان ارائه درس
			جمع	نظری	عملی	
۱	فیزیک حالت جامد پیشرفته	۳	۴۸	۴۸		فیزیک حالت جامد ۱
۲	روشنهای پیشرفته مطالعه مواد و از	۳	۶۴	۳۲	۳۲	ندارد
۳	کریستالوگرافی و ساختار فازهای سرامیکی	۳	۴۸	۴۸		ندارد
۴	تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها	۳	۴۸	۴۸		مگذراندن کلیه دروس اجباری
۵	پروژه تحقیقاتی و رساله	۶	-			
جمع		۱۸	۲۰۸	۱۷۶	۳۲	



دروس انتخابی

کد درس	نام درس	تعداد واحد	ساعت			پیش نیاز یا زمان ارائه درس
			جمع	نظری	عملی	
۱	نفوذ و تفجوشی در سرامیکها	۳	۴۸	۴۸		فیزیک حالت جامد جبرانی
۲	پیزوالکتریک ها	۳	۴۸	۴۸		تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها
۳	مواد فرو الکتریک و پیرو الکتریک	۳	۴۸	۴۸		تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها
۴	مواد لایه نازک	۳	۴۸	۴۸		تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها
۵	کاربرد کلوئیدها و شیمی سطح در ساخت سرامیکها	۳	۴۸	۴۸		ندارد
۶	خواص و کاربرد سرامیکهای هادی یون	۳	۳۲	۳۲		ندارد
۷	خواص مغناطیسی مواد	۳	۴۸	۴۸		مکانیک کوانتم
۸	دی الکتریک های سرامیکی	۳	۴۸	۴۸		تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها
۹	آزمایشگاه ساخت الکتروسرامیکهای پلی کریستال	۱	۳۲	۳۲	۳۲	تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها- مباحث پیشرفته در مغناطیس های سرامیکی
۱۰	ابزارهای سرامیکی	۳	۴۸	۴۸		فیزیک حالت جامد ۱
۱۱	خواص نوری و حرارتی سرامیکها	۳	۴۸	۴۸		فیزیک حالت جامد ۱
۱۲	مباحث پیشرفته در مغناطیس های سرامیکی	۳	۴۸	۴۸		نفوذ و تفجوشی در سرامیک ها
۱۳	ترمودینامیک پیشرفته مواد	۳	۳۲	۳۲		ندارد

کلیه دانشجویان کارشناسی ارشد رشته مهندسی الکتروسرامیک موظفند از بین دروس انتخابی ۱۲ واحد آنرا بصورت اختیاری اخذ نمایند.



دروس جبرانی

کد درس	نام درس	تعداد واحد	ساعت			پیش نیاز یا زمان ارائه درس
			جمع	نظری	عملی	
۱	فیزیک حالت جامد ۱	۳	۴۸	۴۸		ندارد
۲	مکانیک کوانتوم	۳	۴۸	۴۸		ندارد
جمع		۶	۹۶	۹۶		

تبصره : دانشجویان موظفند در دروس جبرانی نمره قبولی داشته باشند (حداقل ۱۲) ولی نمره دروس جبرانی در معدل کل وارد نمی شود.



فصل سوم

سرفصل دروس



فیزیک حالت جامد پیشرفته

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیش نیاز : فیزیک حالت جامد ۱

سرفصل دروس:

نظریه سامر فلد در مورد فلزات، نظریه کره ستال هارمونیک، نظریه کوانتومی کره ستال هارمونیک، الکترون ها پتانسیل تناوبی ضعیف، روش پیوند محکم، ساختار نواری، اکسیتونها، پلارون ها، پلاریتون ها، پلاسمون ها، آثار غیر هارمونیک در کریستال ها، نیمه هادی های همگن، نیمه هادی های ناهمگن.

مراجع:

1- N. W. Ashcroft & N. D. Mermin, Solid State Physics, Holt-Sanders International Editions, 1976.



روشهای پیشرفته مطالعه مواد و آز

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری و عملی

پیشنیاز :

سرفصل دروس:

الف - شناسایی مواد به کمک اشعه X شامل:

ویژگیهای اشعه X، تولید اشعه X، جذب اشعه X، خطوط ویژه در اشعه X، لبه های جذب در اشعه X، دifrakشن اشعه X، قانون براگ، محاسبه فاکتورهای ساختمانی، لورتز، جذب، حرارتی و تعدد، پهنای پیک و عوامل موثر بر آن، روشهای پودر و دifrakشن پودر، دستگاهی، روش لایه، روش کریستال چرخان، کاربردهای دifrakشن اشعه X در زمینه های مرتبط با ساخت الکترو سرامیک ها و شناسایی فازهای مختلف در مراحل تولید. بررسی بافت لایه های نازک، شناسایی نوع بلور و بررسی وضعیت نسبی فازهای ثانویه و زمینه و اثرات آماده سازی نمونه بر این وضعیت. شناسایی و بررسی بعضی از موارد فوق در آزمایشگاه انجام می گیرد.

ب - میکروسکوپ الکترونی روبیدنی (SEM) شامل:

اندرکنش برخورد الکترون با ماده، علانم حاصل از برخورد الکترون با ماده و کاربرد آنها، روشهای مختلف تولید الکترون، اپتیک الکترون و عوامل حاکم بر آن، اصول تشکیل تصویر، کنتر است، وضوح تصویر عمق میدان، تصویرهای زمینه سفید و زمینه سیاه، مدهای مختلف تصویر و نمونه سازی، کاربردهای SEM در زمینه های مرتبط با سرامیک ها

پ - میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) شامل:

اصول تشکیل تصویر، کنتر است، عمق میدان، وضوح تصویر، تصویر دifrakشن و نحوه بوجود آمدن آن دifrakشن الکترونی، اثر نقصها بر دifrakشن الکترونی، طرحهای دifrakشن الکترونی و کاربرد آنها، طرحهای دifrakشن الکترونی چند بلورها، خطوط کیکوشی، دifrakشن و کنتر است در مواد دوفاز، کاربردهای TEM در زمینه های مرتبط با سرامیک.

ت - میکروآنالیزورها شامل:

اشعه X در میکروسکوپهای الکترونی، آنالیز شیمیایی به روش EDS، کاربردها، مزایا و محدودیتهای این روش آنالیز خطی و کاربردهای آن، آنالیز سطح و تولید نقشه های اشعه X به وسیله EDS و کاربردهای آن، آنالیز شیمیایی به روش WDS کاربردها، مزایا و محدودیتهای این روش، آنالیز خطی و تولید نقشه های اشعه X به وسیله WDS و خطاهای آن، آنالیز کمی در WDS و خطاهای آن. کاربردهای میکروآنالیزورها
ت - روش های پیشرفته مطالعه مواد در الکترو سرامیک ها



سویار الکتروسکوپی - رامان و اینفرا رد اسپکتروسکوپی - خانواده SPM

- Scanning Probe Microscopy (SPM)
- Scanning Tunneling Microscopy (STM)
- Scanning Capacitance Microscopy (SCAM)
- Scanning Calorimetric Microscopy (SCM)
- Atomic Force Microscopy (AFM)
- Piezoelectric Force Microscopy (PFM)
- Electrostatic Force Microscopy (EFM)
- Lateral Force Microscopy (LFM)

مراجع:

- 1- An Introduction to X-ray Crystallography, Michael M. Woolfson, Second edition, Cambridge University press.
- 2- X-ray Structure Determination: A Practical Guide, George H. Stout, Lyle H. Jensen, John Wiley & Sons Inc.
- 3- Principles and Practice of Electron Microscope Operation, A. W. Agar, R. H. Alderson, D. Chescoc, Elsevier.
- 4- Energ-Dispersive X-ray Analysis in the Electron Microscope, A. J. Garratt-Reed and D. C. Bell, Oxford.
- 5- T. C. Gibb, „Principles of Mössbauer Spectroscopy“, Chapman and Hall Ltd., London, 1976
- 6- P. Gülich, R. Link, A. Trautwein, „Mössbauer Spectroscopy and Transition Metal Chemistry“, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1978
- 7- T. E. Cranshaw, B. W. Dale, G. O. Longworth, and C. E. Johnson, „Mössbauer Spectroscopy and its Applications“, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1985
- 8- G. J. Long, ed., „Mössbauer Spectroscopy Applied to Inorganic Chemistry Vols. 1-3“, Plenum, New York, 1984-1989
- 9- R. L. Mössbauer, „The Discovery of the Mössbauer Effect“, Hyperfine Interactions, 126 (2000), 1-12
- 10- G. Turrell: Infrared and Raman Spectra of Crystals, Academic Press 1972.
- 11- W. Hayes, R. Loudon: Scattering of Light by Crystals, Wiley 1978
- 12- Vibrational Spectroscopy of Phase Transitions (Eds. Z. Iqbal and F. J. Owens), Academic Press 1984
- 13- H. Kuzmany: Solid-State Spectroscopy (An Introduction), Springer 1998
- 14- Binnig, G., Quate, C.F., and Gerber, Ch. (1986) Atomic force microscope. Phys. Rev. Lett. 56(9), 930-933
- 15- “Scanning and Transmission Electron Microscopy: An Introduction,” S.L. **Flegler**, J.W. Heckman, K.L. Klomparens, Oxford Univ. Press (1993), ISBN #0-19-510751-9.
- 16- Encyclopedia of Materials Characterization,” C.R. **Brundle**, C.A. Evans, Jr., S. Wilson, Butterworth-Heinemann (1992), ISBN #0-7506-91689



کریستالوگرافی و ساختار فازهای سرامیکی

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیشنیاز : -

سرفصل دروس:

- مقدمه بر کریستالوگرافی و شبکه های کریستالی
- تقارن های خارجی سیستم های بلوری
- جهات و صفحات بلوری
- ۲۲ رده تقارن
- فرم های بلوری
- گروه های فضایی و نقطه ای
- تصویر فضائی
- بلورها- خصوصیات جامدات سرامیکی
- ساختارهای کریستالی و هندسه آنها در الکترو سرامیک ها.
- رابطه بین پیوندها و نوع ساختار
- شبکه های سه بعدی
- تانسورها و گروه های فضایی و نقطه ای
- ساختارهای کریستالی و خواص فیزیکی
- ساختارهای کریستالی و خواص الکتریکی (خواص نوری - پیزو الکتریسته - معنطیس - فرو الکتریسته - پیروالکتریسته - دی الکتریک ها...)

مراجع:

- 1- J.F. Nye, Physical Properties of Crystals (Oxford University Press) R.E. Newham, Structure-Property Relations (Springer-Verlag, 1975)
- 2- L. V. Azaroff, Introduction to solids, McGraw-Hill Pub., 1993.



تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیشنیاز :

سرفصل دروس:

- کلیات روش ساخت سرامیک های بس بلور شامل تهیه پودر، مخلوط نمودن، کلسینه، شکل دهی و تفجوشی یا پخت
- رشد سرامیک های تک بلور،
- سرامیک های چند لایه
- لایه نشانی سرامیک ها
- سرامیک های هادی، المنت ها و الکترودها، مقاومت های اهمی، مقاومت های وابسته به ولتاژ (وریستور)، سنسورهای رطوبت و گاز، ابر رساناهای سرامیکی با دمای گذار بالا، سرامیک های دی الکتریک و عایق با ضرایب گذر دهی الکتریکی پایین، متوسط و بالا، سرامیک های پیزوالکتریک، پارامترهای پیزوالکتریک و اندازه گیری آنها، پیزو سرامیک های تجاری مهم، کاربردهای پیزو الکتریک ها، سرامیک های الکترواپتیکی و کاربردهای آنها، سرامیک های مغناطیسی، کاربردهای سرامیک های مغناطیسی.

مراجع :

- 1- A. J. Moulson and J. M. Herbet. Electroceramics: Materials Properties Applications. Chapman & Hall. 2003.
- 2- Knauth, Philippe; Schoonman, Joop (Eds.) Nanostructured Materials, Selected Synthesis Methods, Properties and Applications, Series: Electronic Materials: Science & Technology, 2002.
- 3- Nanoscale materials / ed. by Luis M. Liz-Marzán ... [et al.]. Boston: Kluwer Academic Publishers [New York; 2003
- 4- Electronic and magnetic properties of nanostructures / von Bence Lazarovits. Wien: Technische Universität Wien ; 2003
- 5- Soboyejo, Wolé , Mechanical properties of MEMS structures, 2003
- 6- Advanced electronic-ceramic materials / Proceedings of the 8th IUMRS International Conference on Electronic Materials (IUMRS-ICEM 2002), Symposium N, Xi'an, China, June 10-14, 2002.
- 7- Electronic and optoelectronic properties of semiconductor structures / Jasprit Singh. Cambridge University Press: Cambridge; 2003.. 523 S.
- 8- The physics of solar cells / Jenny Nelson. London: Imperial College Press; 2003.
- 9- Ceramic materials and multilayer electronic devices: proceedings of the High Strain Piezoelectric Materials, Devices, and Applications and Advanced



Dielectric Materials and Multilayer Electronic Devices Symposia : held at the 105th Annual Meeting of the American Ceramic Society, April 27-30, 2003, in Nashville, Tennessee / ed. by K.M. Kair ... [et al.]. Westerville, Ohio : The American Ceramic Society ; 2004

- 10- High-Temperature Superconductors: Materials, Properties, and Applications, Series: Electronic Materials: Science & Technology, Vol. 6 ,Wesche, Rainer ,1999, 456 p.
- 11- Rainer Waser, Science and Technology of Electroceramic Thin Films, Kluwer Academic Pub, 1995
- 12- Electronic materials and processes handbook / Charles A. Harper, [et al.] (Hg.). 3rd ed. New York: McGraw-Hill; 2004.. 1 Band: Ill. (Electronic packaging and interconnection series)



نفوذ و تفجوشی در سرامیک ها

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیش نیاز : -

سرفصل دروس:

- معادلات شار و نفوذ
- سینتیک فرآیند نفوذ
- بررسی فرآیند نفوذ اتمی
- معرفی و تعیین انواع ضریب نفوذ های اتمی
- بررسی و تحلیل تئوری حرکت تصادفی اتمها
- بررسی نفوذ اتمی به عنوان یک فرآیند فعال شونده توسط حرارت
- بررسی مکانیزمهای نفوذ اتمی
- بررسی نفوذ ناشی از شیب غلظتی
- بررسی نفوذ ناشی از حضور میدان های خارجی و داخلی (الکتریکی، تنش و ...)
- بررسی فرآیند نفوذ از طریق مسیرهای دارای ضریب نفوذ بزرگ
- بررسی تاثیر انواع عيوب ساختاری بر نفوذ اتمی
- بررسی نفوذ دوقطبی (bipolar Diffusion)
- بررسی و تحلیل مدل های تف جوشی و مکانیزمهای حاکم بر آنها در سرامیکها
- تف جوشی در حالت جامد
- تحلیل و بررسی نیروی محرکه کلی و موضعی و نقش آن بر روند تف جوشی
- بررسی مکانیزمهای حاکم در فرآیند تف جوشی در حالت جامد سرامیکها
- بررسی پدیده رسد دانه ها حین تف جوشی و تاثیر آن بر حذف خلل و فرجها و دستیابی به چگالی حداکثر
- تف جوشی در حضور فاز مایع در سرامیکها
- بررسی مکانیزمهای چگالش در فرآیند تف جوشی در فاز مایع سرامیکها
- بررسی و تحلیل پارامترهای موثر بر فرآیند چگالش در حضور فاز مایع
- معرفی کاربردهای تف جوشی در حضور فاز مایع در سرامیکها



مراجع:

- 1- P. Shewmon, Diffusion in Solids, Second Ed., The Minerals, Metals and Materials Society, 1989.
- 2- Yet- Ming Chiang, D. Birnie and W. D. Kingery, Physical Ceramics, Principles for Ceramic Science and Engineering, Wiley, USA, 1997.



پیزوالکتریک ها

تعداد واحد: ۳

نوع واحد: نظری

پیشنیاز: تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها

سرفصل دروس:

مقدمه و تعریف پیزو الکتریسیته:

- پلاریزاسیون، حوزه های قطبی و منحنی هیسترزیس
- معادلات پیزو الکتریسیته و ضرایب پیزو الکتریسیته
- روشهای اندازه گیری ضرایب پیزوالکتریسیته
- مواد پیزو الکتریک - (سرامیک ها- لایه های نازک - مواد تک کریستال - پلیمرها و کامپوزیت ها)
- سرامیک های پیزو الکتریک صنعتی
- سرامیک های PZT نرم و سخت
- تاثیر مواد افزودنی، اندازه دانه و پروسه تولید بر خواص پیزو الکتریسیته
- تئوری لاندئا- گیتزیورک - دوانشیر
- اثرات ذاتی و خارجی در رفتار پیزو الکتریسیته مواد
- رفتار غیر خطی مواد پیزو الکتریک
- خواص غیر ایزوتروپ مواد پیزو الکتریک و تانسور خواص
- سرامیک های نوین پیزو الکتریک (سرامیک های پیزو الکتریک بدون سرب ...)
- پیری، خستگی و خزش در پیزو الکتریک ها
- کاربردهای مواد پیزو الکتریک - سنسورها - اکچوئیورها - میدل ها و ...

مراجع:

- 1-A. J.Moulson and J.M.Herbet. Electroceramics: Materials Properties Applications. Chapman & Hall. 2003.
- 2-Setter, N. (Ed.) ,Electroceramic-Based MEMS Fabrication-Technology and Applications, Series: Electronic Materials: Science & Technology, Vol. 9 ,2005.
- 3-Developments in electronic materials and electronic devices: proceedings of the 106th Annual Meeting of The American Ceramic Society, Indianapolis, Indiana, USA (2004) / eds.: K.M. Kair ... [et al.]. Westerville, Ohio: The American Ceramic Society, 2005
- 4- J. D. Livingston, Electronic Properties of Engineering Materials, John Wiley & Sons, NY, 1999.
- 5-K. Uchino, Piezoelectric Actuators and Ultrasonic Motors (Kluwer Academic, 1997)



- 6- Bulk crystal growth of electronic, optical & optoelectronic materials / ed. by Peter Capper. Chichester : Wiley ; 2005.. (Wiley series in materials for electronic and optoelectronic applications)
- 7-Electronic properties of synthetic nanostructures / XVIII International Winter school/Euro conference on Electronic Properties of Novel Materials, Hirschberg, Tirol, Austria, 6-13 March 2004 ; eds.: Hans Kuzmany ... [et al. ; sponsoring org.: Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur, Austria ... [et al.]. Melville, New York: American Institute; 2004
- 8-Electronic materials and processes handbook / Charles A. Harper, [et al.] (Hg.). 3rd Ed. New York: McGraw-Hill; 2004. 1 Band: Ill... (Electronic packaging and interconnection series)
- 9-Advanced materials in electronics / Ed.: Qixin Guo. [Trivandrum]: Research Signpost; 2004
- 10-T.G. Nenov & S.R. Yordanov, **Ceramic Sensors** (*Technomic, 1996*)
- 11-N. Setter, **Piezoelectric Materials in Devices**, 2002.



مواد فرو الکتریک و پیرو الکتریک

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیشنیاز : تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها

سرفصل دروس:

- مقدمه و تعاریف
- مواد فرو الکتریک
- مواد پیرو الکتریک
- پارامترها و معادلات پیرو الکتریسیته
- روشهای اندازه گیری ضرایب پیرو الکتریسیته
- سرامیک های مهم فرو الکتریک پیرو الکتریک
- سرامیک های غیر فرو الکتریک پیرو الکتریک
- سرامیک های لایه نازک پیرو الکتریک
- پارامترهای جانبی موثر بر خواص پیرو الکتریسیته (خواص حرارتی - پیرو الکتریسیته و ...)
- رفتار غیر خطی مواد پیرو الکتریک
- پیرو و تغییر خواص در پیرو الکتریک ها
- کاربردهای مواد فرو الکتریک و پیرو الکتریک



مراجع:

- 1- Principles of electronic materials and devices / S.O. Kasap. 3rd ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2005.
- 2- N. Setter, Piezoelectric Materials in Devices, 2002.
- 3- L.L. Hench & J.K. West, Principles of Electronic Ceramics (*John Wiley & Sons, 1990*)
- 4-A.J. Moulson & J.M. Herbert, Electroceramics: Materials, Properties, Applications (*Chapman and Hall, 2003*)
- 5- A. J. Moulson and J. M. Herbet. Electroceramics: Materials Properties Applications, Chapman & Hall. 2003.
- 6-J.F. Scott, Ferroelectric Memories (*Springer, 2000*)
- 8-Xu, Y, Ferroelectric materials and their applications, North-Holland, 1991.
- 9- Relva Buchanan, Ceramic Materials for Electronics, Third Edition, 2004
- 10- B. G. Streetman, Solid State Electronic Devices, 5th ed., Prentice-Hall.



مواد لایه نازک

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

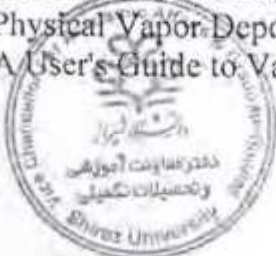
پیش نیاز : تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها

سرفصل دروس:

- مقدمه و تعریف
- مدل رشد لایه های نازک
- محیط و شرایط مناسب برای رشد لایه های نازک
- تبخیر و رشد اپی تکسی
- رسوب دهی به روش اسپلترینگ
- CVP
- PVD
- PECVD, LPCVD, MOCVD
- الکتروپلیتینگ
- اچ کردن تر و خشک
- تاثیر ضخامت و سابلتریت بر خواص الکتریکی
- روشهای پیشرفته ساخت لایه های نازک در ابعاد کنترل شده
- کاربردها و خواص لایه های نازک الکتروسرامیکی
- لیتوگرافی
- MEMS و کاربردهای آن

مراجع:

- 1-John A. Venables, Introduction to Surface and Thin Film Processes, published by Cambridge University Press (2000)
- 2- M. Prutton 'Introduction to Surface Physics' (Oxford, 1994)
- 3- L. B. Freund, S. Suresh, Thin Film Materials, Stress, Defect Formation and Surface Evolution, 2003.
- 4- Donald L. Smith, Thin-Film Deposition: Principles and Practice, 1995 McGraw-Hill.
- 5-The Materials Science of Thin Films by Milton Ohring
- 6-Physical Vapor Deposition of Thin Films by John E. Mahan
- 7-A User's Guide to Vacuum Technology by John F. O'Hanlon



کاربرد کلوئیدها و شیمی سطح در ساخت سرامیک ها

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیش نیاز : -

سرفصل دروس:

- شیمی سطح و رئولوژی
- تعریف و معرفی رئولوژی، اندازه گیری های رئولوژیکی، رئولوژی دوغابهای سرامیکی و نقش شیمی سطح در آنها
- فراآوری کلوئیدی سرامیک ها
- شیمی کلوئیدها، معرفی و بررسی لایه دو گانه الکتریکی و تحلیل تئوری DLVO
- مکانیزمها و راهکارهای پایدار سازی دوغابهای سرامیکی
- برهم کنش ذرات سرامیکی در دوغابها و تاثیر آن بر رئولوژی دوغاب
- معرفی و بررسی پتانسیل زتا، الکتروفرسیز در فرآیندهای کلوئیدی
- عوامل موثر بر فراآوری و شکل دهی قطعات سرامیکی در حالت تر
- عوامل فرآیندی و افزودنیها
- انواع افزودنیهای مورد استفاده در شکل دهی در حالت تر سرامیک ها
- آب و حلال های آلی
- چسب ها
- پراکنده سازها
- بررسی رفتار رئولوژیکی دوغابهای سرامیکی
- خصوصیات رئولوژیکی
- خصوصیات سوپانسیون های سرامیکی
- مثال های کاربردی در سیستم های سرامیکی نظیر $Y-ZrO_2$, $BaTiO_3$
- روشهای شکل دهی سرامیکها به روش کلوئیدی (در حالت تر)
- ریخته گری دوغابی تحت فشار
- ریخته گری ژله ای
- ریخته گری نواری
- روشهای تزریقی
- فرآیندهای مبتنی بر تشکیل شل - ژل
- بررسی و مقایسه خصوصیات قطعات سرامیکی تولید شده به روشهای تر (کلوئیدی) و خشک.



مراجع:

- 1- R. J. Hunter, Introduction to Modern Colloid Science, Oxford University Press, USA, 1994.
- 2- R. J. Hunter, Foundations of Colloid Science, Oxford University Press, USA, 2001.
- 3- B. I. Lee and E. J. A Pope (Editors), Chemical Processing of Ceramics, Second Ed., Taylor and Francis Group, 2005.



خواص و کاربرد سرامیک های هادی یون

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیش نیاز : -

سرفصل دروس:

- مقدمه ای بر سرامیکهای الکترونیکی
- تقسیم بندی الکترونیکی سرامیک ها متناسب با ترکیب شیمیایی، ساختار و نوع هدایت الکتریکی
- سرامیک های هادی جریان الکتریکی از طریق انتقال الکترون Electronic Conductors
- سرامیک های هادی جریان الکتریکی از طریق انتقال یون و الکترون Mixed Conductors
- سرامیک های هادی جریان الکتریکی از طریق انتقال یون Ionic Conductors
- معرفی و بررسی خصوصیات مهمترین و پرکاربردترین سرامیک های هادی یون از قبیل ترکیب زیرکونیای پایدار شده توسط یترا، اکسید سریوم، اکسید بیسموت و ترکیباتی که بر پایه آنها سنتز می شوند و موارد دیگر...
- بررسی و تحلیل ارتباط ساختار کریستالی با هدایت الکتریکی در سرامیک های اکسیدی و غیر اکسیدی
- معرفی و بررسی کاربردهای مختلف سرامیک های دارای هدایت الکتریکی از قبیل :
 - پیل های سوختی سرامیکی
 - پمپهای اکسیژن و غشاء های سرامیکی
 - سنسورهای گازی از جمله سنسور اکسیژن و دود.

مراجع :

- 1- J. Nowotny and C. C. Sorrell, Ed., Electrical Properties of Oxide Materials, Trans Tech publications, Switzerland, 1997.
- 2- B. Scrosat., Ed, Fast Ion Transport in Solids, Kluwer Academic Publishers, London, 1992.
- 3- J. D. Livingston, Electronic Properties of Engineering Materials, John Wiley & Sons, NY, 1999.



خواص مغناطیسی مواد

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیش نیاز : مکانیک کوانتوم

سرفصل دروس:

تکانه زاویه ای مداری، تکانه زاویه ای اسپینی، دو قطبی های مغناطیسی، دیامغناطیس، پارامغناطیس، فرومغناطیس، پادفرومغناطیس، فری مغناطیس، نظریه میدان مولکولی، پسماند مغناطیسی، مواد مغناطیسی نرم، مواد مغناطیسی سخت، میدان موضعی: میدان مغناطیس زدا، میدان کاواک و میدان لورنتس، ناهمسانگردی، حوزه ها و دیواره های مغناطیسی.

مراجع:

- 1- A. H. Morrish, The Physical Principles of Magnetism, John Wiley & Sons, 1965.
- 2- S. Chikazumi, Physics of Magnetism, John Wiley & Sons, 1964.



دی الکتریک های سرامیکی

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیشنیاز : تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها

سرفصل دروس:

- مقدمه
- پلاریزاسیون و پروسه های جابجانی بار در مواد دی الکتریک
- رفتار مواد دی الکتریک در میدان ثابت
- رفتار مواد دی الکتریک در میدان متغیر
- مواد دی الکتریک - (سرامیک ها - لایه های نازک - پلیمرها و کامپوزیت ها)
- دی الکتریک های فرو الکتریک
- ری لکسورها
- مواد الکترو استریکتیو
- سرامیک های دی الکتریک صنعتی
- خازنها و کاربردهای آنها
- تاثیر مواد افزودنی، اندازه دانه و پروسه تولید بر خواص دی الکتریک ها
- دی الکتریک های لایه نازک و لایه ضخیم
- دی الکتریک های چند لایه ای
- رفتار غیر خطی مواد دی الکتریک
- تغییرات خواص و ریلکسیشن در مواد دی الکتریک
- دی الکتریک های با نفوذپذیری کم و کاربرد های آنها
- دی الکتریک های با نفوذپذیری متوسط و کاربرد های آنها
- دی الکتریک های با نفوذپذیری زیاد و کاربرد های آنها



مراجع:

- 1- A. J. Moulson and J. M. Herbert. Electroceramics: Materials Properties Applications. Chapman & Hall. 2003.
- 2-D.W. Richradson, modern ceramic engineering, properties, processing and application, 2006, Taylor
- 3-Developments in electronic materials and electronic devices: proceedings of the 106th Annual Meeting of The American Ceramic Society, Indianapolis, Indiana, USA (2004) / eds.: K.M. Kari, [et al.]. Westerville, Ohio: The American Ceramic Society, 2005.
- 4- J. D. Livingston, Electronic Properties of Engineering Materials, John Wiley & Sons, NY, 1999.



5-Bulk crystal growth of electronic, optical & optoelectronic materials / ed. by Peter Capper. Chichester: Wiley; 2005, (Wiley series in materials for electronic and optoelectronic applications)

6-Electronic materials and processes handbook / Charles A. Harper, [et al.] (Hg.). 3rd Ed. New York: McGraw-Hill; 2004. 1 Band: Ill. (Electronic packaging and interconnection series)

8-Advanced materials in electronics / Ed.: Qixin Guo. [Trivandrum]: Research Signpost; 2004



آزمایشگاه ساخت الکتروسرامیکهای پلی کریستال

تعداد واحد: ۱

نوع واحد: عملی

پیش نیاز: تکنولوژی ساخت الکتروسرامیک ها- مباحث پیشرفته در مغناطیس های سرامیکی

سرفصل دروس:

- ساخت فریت نیکل-روی برای فرکانس های کمتر از ۱MHz
- ساخت فریت نیکل-روی برای فرکانس های بیشتر از ۱MHz و کمتر از ۲۰MHz
- بررسی تاثیر دمای تف جوشی نهایی بر روی چگالی و ضریب نفوذپذیری مغناطیسی نسبی فریت نیکل-روی
- بررسی تاثیر اختلاف دمای تف جوشی مقدماتی و تف جوشی نهایی بر روی انقباض، چگالی و ضریب نفوذپذیری مغناطیسی موثر فریت نیکل-روی
- ساخت فریت منگنز-روی برای ترانس های قدرت در محدوده فرکانس های ۲۰ تا ۵۰ کیلوهرتز
- ساخت فریت یاریم همسانگرد
- ساخت فریت استرانسیم همسانگرد
- ساخت فریت یاریم ناهمسانگرد
- ساخت فریت استرانسیم ناهمسانگرد
- بررسی تاثیر تغییر دمای تف جوشی نهایی فریت استرانسیم بر روی چگالی و نیروی مغناطیسی
- ساخت تیتانات یاریم
- ساخت تترائیتانات یاریم



ابر رساناهای سرامیکی

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیش نیاز : فیزیک حالت جامد ۱

سرفصل دروس:

خلاصه ای در مورد تاریخچه ابررسانایی، اثر مایستر، نظریه الکترون فلزات، ترمودینامیک ابررسانایی (مدل دو شاره ای)، اثر مایستر جریان های دائم، مقاومت ظاهری سطحی، ابررساناها در میدان الکترومغناطیسی با فرکانس بالا (طول همدوس، فرکانس بحرانی و شکاف انرژی)، نظریه B. C. S، نظریه باروین-یوگولیوف، ابررساناهای سخت، نحوه ساخت ابررساناهای سرامیکی، کاربرد ابررساناها (مغناطیس های ابررسانا، عناصر حافظه ای، استفاده در الکترونیک، وسایل اندازه گیری، استفاده در فضا و هسته ای).

مراجع:

- 1- C. G. Kuper, An Introduction to the Theory of Superconductivity.
- 2- E. M. Savitskii, V. V. Baron, Y. U. V. Efimov, M. I. Bychkova and L. F. Myzenkova, Superconducting Materials.
- 3- M. Akhavan, J. Jensen and K. Kitazawa, Proceedings of the First Regional Conference on Magnetic and Superconducting Materials (Volume A), 27-30 sep. 1999, Tehran, Iran, World Scientific, 2000.



خواص نوری و حرارتی سرامیک ها

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیش نیاز : فیزیک حالت جامد ۱

همینا : -

سرفصل دروس:

نظریه الکترونی جذب، انعکاس و عبور ایتیکی، نوارهای هدایت و ظرفیت، تحقیق ساختار نواری توسط جذب و انعکاس نور، بررسی جذب نور توسط اکسیژن، جذب و انعکاس نور توسط بارهای آزاد، عبور (گذار) همراه یا تابش، عبور (گذار) بدون تابش، کدر بودن، شفافیت و نیمه شفافیت سرامیک ها، باندهای جذب، گرمای ویژه و تغییرات آن با درجه حرارت، اتساع حرارتی بلورها، هدایت حرارتی بلورها، آثار تداخل بر روی هدایت، انتقال حرارتی از طریق تشعشع، تنش های حرارتی، مقاومت در برابر شوک حرارتی، انیل کردن.

مراجع:

- 1- Abeles, Optical Properties of Solids, 1972.
- 2- J. C. Fisher, W. G. Johnston, R. Thomson and T. Vreeland, Dislocations and Mechanical Properties of Crystals, John Wiley & Sons, 1975.
- 3- N. F. Mott and R. W. Gurney, Electronic Processes in Ionic Crystals, Second Edition, Clarendon Press, 1950.
- 4- N. M. Tallen, Electrical Conductivity in Ceramics and Glass, Marcel Dekker, 1974.
- 5- P. Kofstad, Non-Stoichiometry Electrical Conductivity and Diffusion in Binary Metal Oxides, John Wiley & Sons, 1972.



مباحث پیشرفته در مغناطیس های سرامیکی

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیش نیاز : نفوذ و تفجوشی در سرامیک ها

سرفصل دروس:

ساختار فریت های اسپینلی نرم، جانشینی یون ها در ساختار اسپینلی، ساخت فریت نیکل-روی، ساخت فریت منگنز-روی، تحلیل کنترل اتمسفر در فریت منگنز-روی، بررسی آثار مواد اضافی در تفجوشی فریت ها، ساختمان فریت های سخت باریم و استرانسیم، ساخت آهنرباهای سرامیکی همسانگرد، ساخت آهنرباهای سرامیکی ناهمسانگرد، فریت های مایکروویو، فریت های دارای حلقه پسماند مستطیلی، بررسی آثار اندازه دانه ها قبل و بعد از تفجوشی، بررسی انواع لعل ها.

مراجع :

- 1- W. H. Von Auloxk, Handbook of Microwave Ferrite Materials, Academic Press, 1965.
- 2- M. G. Say, Electrical Engineer's Reference Book, 13th Edition, Butterworth's Publishers, 1973.
- 3- E. C. Snelling, Soft Ferrites: Properties and Applications, Butterworth's Publishers, 1988.
- 4- A. Goldman, Modern Ferrite Technology, Van Nostrand Reinhold, 1990.
- 5- P. Reijnen, "Phase equilibria in the System $MgO-FeO-Fe_2O_3$ ", Philips, Res. Repts. 23, 151-188, 1968.
- 6- P. I. Slick and H. Basseches, "Thermogravimetric Study of the Solid-gas Interaction of Mn-Zn Ferrite and the Effect on Its Properties", IEEE Trans. Mag. [2] No. 3, 603-607, 1966.
- 7- R. Morineau and M. Palus, "Chart of PO_2 Versus Temperature and Oxidation Degree for Mn-Zn Ferrites in the Composition range: $50 < Fe_2O_3 < 54$; $20 < MnO < 35$; $11 < ZnO < 30$ (mole %). IEEE Trans. Mag. [11] No. 5, 1312-1314, 1975.
- 8- J. G. M. De lau, "Influence of Chemical Composition and Microstructure on High Frequency Properties of Ni-Zn-Co Ferrites", Philips. Res. Repts. Suppl. No. 6. 1975.
- 9- T. G. W. Stintjes, J. Klerk and A. B. Van Groenou, "Permeability and Conductivity of Ti-Substituted Mn-Zn Ferrites", Philips Res. Repots. 25, 95-107, 1970.
- 10- C. S. Liu, C. J. Chen, M. J. Tang and C. D. Wu, "Effect of $PbO-B_2O_3-SiO_2$ glass on Preparation of Low Loss Mn-Zn Ferrites", IEEE Trans. Mag. [28]5, 2441-2443, 1992.
- 11- I. N. Lin, R. K. Mishra and G. Thomas, "Controlled Atmosphere Annealing of High-Permeability Manganese Zinc Ferrite", IEEE Trans. Mag. [22]3, 175-181, 1986.



- 12- U. Konig. "Improved Manganese Zinc Ferrites for Power Transformers",
IEEE Trans. Mag. [11]5, 1308, 1975.
- 13- J. Helszajn, YIG Resonators and Filters, John Wiley & Sons. 1985.



فیزیک حالت جامد ۱

تعداد واحد : ۳

نوع واحد : نظری

پیش نیاز : -

سرفصل دروس:

شبکه های کریستالی، شبکه معکوس، نظریه درود در مورد فلزات، قونونها و روابط پاشندگی آنها، محاسبه ساختار نواری، مدل نیمه کلاسیک دینامیک الکترون، اندازه گیری سطح قرمی، تقریب زمان و اهلس، معایب کریستالی

مراجع:

- 1- C. Kittel, Solid State Physics, Firth Edition, 1982.
- 2- n. w. Ashcroft & N. D. Mermin, Solid State Physics, Holt-Sanders International Editions, 1976.



مکانیک کوانتوم

تعداد واحد: ۳

نوع واحد: نظری

پیش نیاز: -

سرفصل دروس:

مفاهیم پایه - معادله شرودینگر - نوسانگر هماهنگ، تصویرهای شرودینگر، هایز نبرگ و برهم کنش، اندازه حرکت زاویه ای، ذرات یکسان، وردش، اختلال مستقل از زمان، اختلال تابع زمان، آهنگ های انتقال.

مراجع:

- 1- J. J. Sakurai, Modern Quantum Mechanics, Addison-Wesley, 1985.
- 2- S. Gasiorowicz, Quantum Physics, John Wiley & Sons, 1974.



ترمودینامیک پیشرفته مواد

تعداد واحد: ۲

نوع واحد: نظری

پیش نیاز: ندارد

مروری به ترمودینامیک مواد: تعادل های همگن و ناهمگن - ترمودینامیک محلول ها - محاسبه کمیت های مولی و اکتیویته محلول ها، محلول های ایده آل - محلول های با قاعده - توابع اضافی - محلول های رقیق: معادله گیبس دهم در سیستم سه تایی - تغییر دادن حالت استاندارد - ضرایب تاثیر متقابل و پارامترهای تاثیر متقابل - نمودارهای منطقه پایداری ترکیبات - نمودارهای انرژی آزاد مولی نسبی با غلظت و ارتباط آنها با سیستم های دو تایی - حلالیت و عدم حلالیت، تعادل بین فازها با ترکیب متغیر - محاسبات نمودارهای فاز - نمودارهای اکتیویته - مولی جزئی، ترمودینامیک آمار - انتروپی و احتمالات - معادله بولتزمن - انتروپی وضعیتی و انتروپی حرارتی، مدل شبه شیمیایی و سایر مدل ها برای محلول ها - محلول های منظم (Ordered) - نظم پر دامنه در محلول ها و نظم کم دامنه، ترمودینامیک سطوح و مرز بین سطوح - انرژی سطحی و کشش سطحی - مرز داخلی و انفصال شیمیایی - انفصال ساختاری در مرزها - انرژی نابجایی ها - ترمودینامیک محلول های آبی - رابطه انرژی شیمیایی و الکتریکی تاثیر غلظت بر نیروی الکتروموتیو - تشکیل پیل ها - نمودارهای پوربه.

مراجع:

- 1- Introduction to Thermodynamics, of Materials, D. R. Gaskell.
- 2- Thermodynamics of Solids, R. A. Swalin.
- 3- Physical chemistry of Metallurgy Vol. 1 & 2, F. D. Richardson.
- 4- Chemical Thermodynamics of Materials, C. H. Lopis.
- 5- Thermodynamics of Materials, D. Ragone.

