

شیشه فلزات حجمی

ترجمه

دکتر شهاب‌الدین فقیهی

(عضو هیات علمی پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری)

مهندس امین منفرد

(کارشناس ارشد بیومواد)

مؤلف

Michael Miller

Peter Liaw

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

عنوان و نام پدیدآور: شیشه فلزات حجمی / مولف [صحیح: ویراستار مایکل کنت میلر، پیتروکی، لیاو]؛ ترجمه شهاب‌الدین فقیهی، امین منفرد.
 مشخصات نشر: تهران: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۰.
 مشخصات ظاهری: ه، ۲۷۲ ص:؛ نمودار.
 شابک: 978-964-210-097-2 ۶۵۰۰۰ ریال.

وضعیت فهرست‌نویسی: فیا

یادداشت: عنوان اصلی: Bulk metallic gasses: an overview, c2008

یادداشت: واژه‌نامه. یادداشت: کتاب‌نامه: ص. ۲۶۰-۲۶۶.

موضوع: شیشه‌های فلزی موضوع: جامدات توده‌ای

شناسه افزوده: میلر، مایکل کنت، ویراستار.

شناسه افزوده: Miller, M. K. (Michael Kenneth

شناسه افزوده: لیاو، پیتروکی، ویراستار.

شناسه افزوده: (Liaw, P. K. (Peter K.

شناسه افزوده: فقیهی، شهاب‌الدین، ۱۳۵۰- مترجم.

شناسه افزوده: منفرد، امین، ۱۳۶۴- مترجم.

شناسه افزوده: جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر.

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۰ ۹ش ۶۹۳/ت۶۹۳.

رده‌بندی دیویی: ۶۶۹/۴۲

شماره کتابشناسی ملی: ۷۷۵۵۸۸۱



انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

• نام کتاب	• شیشه فلزات حجمی
• تألیف	Michael Miller-Peter Liaw
• ترجمه	• دکتر شهاب‌الدین فقیهی - مهندس امین منفرد
• نوبت چاپ	• اول
• سال چاپ	۱۳۹۰
• شمارگان	• ۱۰۰۰ نسخه
• قیمت	• ۶۵۰۰۰ ریال
• چاپخانه	• اصل
• شابک	ISBN: 978-964-210-097-2 ۹۷۸-۹۶۴-۲۱۰-۰۹۷-۲

• آدرس مرکز بخش: تهران - خیابان حافظ - روبروی خیابان سمیه - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تلفن کتابفروشی: ۶۶۴۶۵۳۹۲ (دفتر) ۸۸۸۹۵۹۶۹ فاکس ۶۶۹۵۰۹۸۲



پیشگفتار جهاد دانشگاهی

توجه به تقویت بنیه علمی دانشگاه‌ها و دیگر مراکز علمی یکی از وظایف اصلی همه آگاهان و دست‌اندرکاران این امور در دوران بازسازی کشور اسلامی عزیزمان ایران می‌باشد. در همین راستا جهاد دانشگاهی با آگاهی نسبت به این موضوع، تمامی توان خود را صرف افزایش سطح علمی دانشجویان و آینده‌سازان کشورمان نموده است و در این مسیر از هیچ کوشش و تلاشی دریغ نمی‌کند.

انتشارات جهاد دانشگاهی با این اعتقاد که دستیابی به استقلال علمی، اقتصادی و عقیدتی بدون دستیابی اولیه به سطوح بالای علمی و تکنولوژی‌های مدرن در کنار ایمان و اعتقاد، امکان‌پذیر نمی‌باشد، سعی می‌کند با آماده‌سازی و انتشار متون متنوع علمی به هر دو زبان فارسی و لاتین که از سطح مطلوب علمی نیز برخوردار باشند به وظیفه انسانی و اعتقادی خویش عمل کند و امیدوار است که بتواند کمکی هرچند ناچیز به علاقه‌مندان و دلسوزان میهن اسلامی و پویندگان راه علم انجام دهد.

با این باور و اعتقاد از همه عزیزان دانش‌پژوه جهت آرایه نظرات و پیشنهادات برای هرچه بهتر شدن سطح علمی انتشارات این جهاد، یاری می‌طلبیم.

در انتها، این کتاب را به روان پاک شهدای دانشگاهی بویژه شهدای دانشگاه صنعتی امیرکبیر تقدیم می‌نماییم. امید است کلیه دانشگاهیان استوار و ثابت‌قدم، پوینده راه شهیدان در محیط مقدس دانشگاه باشند.

والسلام علی من‌التبع الهدی

انتشارات جهاد دانشگاهی

واحد صنعتی امیرکبیر

مدیر مسئول

احمد رضا مختاری

پیش گفتار مترجمین

شیشه فلزات از جمله موادی هستند که در زمره مواد پیشرفته محسوب می گردند. از سال ۱۹۶۰ میلادی که اولین شیشه فلز با ترکیب $Au-Si$ تهیه گردید تا کنون ترکیبات متنوعی از این مواد تهیه و هم اکنون نیز تحقیقات بر روی سنتز ترکیبات جدید در حال انجام است. این مواد به اشکال متفاوتی نظیر پودر، لایه نازک و حجمی (در فصل ۴ در خصوص اندازه مقطع بحرانی یک شیشه فلز جهت شناسائی آن به شکل حجمی بحث خواهیم نمود) قابل تهیه می باشند.

آلیاژهای شیشه فلزات در مقایسه با آلیاژهای بلوری هم ترکیب خود، ویژگی های منحصر به فردی را نشان داده اند که باعث گردیده است تا این مواد در حوزه های مختلف صنعتی، پزشکی، الکتریکی و دفاعی وارد شده و در برخی موارد جنبه تجاری نیز پیدا کرده اند.

از ویژگی های جالب توجه این مواد می توان به استحکام بالا، سختی عالی، تغییر طول کشسان بالا، مقاومت در برابر خوردگی بالا، خصوصیات مغناطیس نرم عالی، قابلیت شکل پذیری بالا در حالت ویسکوز جهت تهیه قطعات با شکل نهایی و ابعاد دقیق اشاره نمود. این قبیل ویژگی ها کاربرد این مواد را در ساخت موتورهای فشار، منبع ذخیره هیدروژن در پیل های سوختی، قطعات مغناطیسی جهت ذخیره سازی اطلاعات در حجم بالا، ساختارهای نانو بلور جهت ایجاد مواد با استحکام بسیار بالا، ساخت ابزارهای پزشکی و شیشه فلزات زیستی بیشتر مطرح و مورد توجه قرار داده است.

پتانسیل بالای تحقیقات در خصوص این مواد پیشرفته در زمینه هایی چون مطالعات تئوری شبیه سازی های اتمی، بررسی رفتار خوردگی، مکانیکی و مغناطیسی همچنین تهیه ترکیبات جدید موجب جلب توجه محققان و همچنین چاپ مقالات گسترده ای در سالهای اخیر گردیده است.

کتاب پیش رو، ترجمه کتاب "Bulk Metallic Glasses" می باشد که هر فصل آن توسط گروهی از محققین گردآوری و نهایتاً توسط آقایان "Michael Miller" و "Peter Liaw" ویرایش و در سال ۲۰۰۷ توسط انتشارات Springer به چاپ رسیده است.

لذا با توجه به اهمیت علمی و کاربردی این مواد اقدام به ترجمه مجموعه حاضر نمودیم تا گامی مثبت در جهت آشنایی هر چه بیشتر دانشجویان و محققینی که با مجموعه علوم مهندسی و مواد در ارتباطند، برداشته باشیم. امید است که در این راستا مجموعه اطلاعاتی در خصوص ترکیبات متنوع شیشه های فلزی و بویژه شیشه فلزات زیستی در اختیار مخاطبان قرار دهیم. لذا از محققین گرامی و دانشجویان عزیز خواستاریم با ارائه پیشنهادهای خود ما را در رفع کاستی ها و اشکالات کتاب حاضر و گردآوری و تدوین مطالب جدید یاری دهند.

در پایان لازم می دانیم که از جناب آقایان مهندسین امین کاظمی و سعید میرزابابایی ابهری جهت ارائه پیشنهادات ارزشمند و سرکار خانم مانا نوین که در ویرایش این مجموعه همکاری نموده اند کمال تشکر و قدردانی را به عمل آوریم.

دکتر شهاب الدین فقیهی

مهندس امین منفرد

sfaghihi@nigeb.ac.ir

amonfared@aut.ac.ir

www.ketab.ir

فصل ۱. مسیر گسترش و کاربرد شیشه های فلزی

بر پایه فلز واسطه موخر

۱	۱-۱- مقدمه
۱	۱-۲- مشخصات ترکیبات آلیاز در مواد BMG پایه LTM
۲	۱-۳- شکل گیری و خصوصیات بنیادی مواد BMG پایه Co- و پایه Fe- در سیستم های (Fe,Co,Ni)-(B,Si)-Nb
۷	۱-۴- مواد BMG پایه Cu- و Ni-
۱۶	۱-۵- مواد BMG پایه Pt- و Pd-
۱۹	۱-۶- ارتباط بین خصوصیات بنیادی مواد BMG پایه LTM
۲۰	۱-۷- کاربردها
۲۱	۱-۸- نتیجه گیری
۲۷	مراجع

فصل ۲. تنوری اتمی مایعات و شیشه های فلزی

۳۱	۲-۱- مقدمه
۳۱	۲-۲- تنوری و حجم آزاد
۳۴	۲-۳- توصیف ساختار
۳۷	۲-۴- نوسان (ناپایداری) دانسته موضعی و ارتباط آن با حجم آزاد
۴۳	۲-۵- ناپایداری توپولوژیکی موضعی و ارتباط آن با فرآیند انتقال به شیشه
۴۸	۲-۶- تغییر شکل شیشه های فلزی
۵۵	۲-۷- توانایی شکل گیری شیشه
۶۰	۲-۸- نتیجه گیری
۶۱	مراجع

فصل ۳. مدل سازی: نقش شبیه سازی های اتمی

۶۵	۳-۱- مقدمه
۶۵	۳-۲- شبیه سازی های اتمی

۶۸	۳-۲-۱- محدودیت ها
۷۰	۳-۲-۲- مدل های شبیه سازی
۷۶	۳-۳- جوانه زنی بلور در مقایسه با انتقال به فاز شیشه
۷۷	۳-۴- خصوصیات مایع فوق سرد شده
۸۳	۳-۵- خصوصیات مکانیکی و ساختار
۸۶	۳-۶- نتیجه گیری
۸۹	مراجع
۹۷	فصل ۴. ارزیابی توانایی تشکیل شیشه
۹۷	۴-۱- مقدمه
۹۹	۴-۲- مقدمه ای بر شاخص های GFA که سابقاً "گزارش شده اند
۱۰۰	۴-۳- شاخص γ
	۴-۴- شاخص ها و معیارهای جدیدی که اخیراً " (بعد از مطرح شدن شاخص γ) در
۱۰۹	خصوص GFA بیان شده اند
۱۱۴	۴-۵- محدودیت های شاخص های جدید GFA
۱۲۰	۴-۶- چشم اندازهای آینده
۱۲۳	مراجع
۱۲۹	فصل ۵. ریزساختار
۱۲۹	۵-۱- مقدمه
۱۳۱	۵-۲- ساختارهای بلوری و آمورف
۱۳۲	۵-۳- گرماسنجی پویشی افتراقی
۱۳۴	۵-۴- تفرق اشعه X
۱۳۷	۵-۵- میکروسکوپ الکترونی
۱۳۹	۵-۵-۱- میکروسکوپ یونی و الکترونی روبشی
۱۴۱	۵-۵-۲- میکروسکوپ الکترونی عبوری
۱۴۲	۵-۵-۳- میکروسکوپ الکترونی با قدرت تفکیک بالا
۱۴۳	۵-۵-۴- میکروسکوپ الکترونی نوسانی

۱۴۵	۵-۶- میکروسکوپ میدان یونی
۱۴۷	۵-۷- تصویربرداری از طریق پروب اتم
۱۵۰	۵-۸- تکنیک های پراش
۱۵۱	۵-۹- طیف سنجی نابودی پوزیترون
۱۵۵	۵-۱۰- خلاصه مطالب
۱۵۸	مراجع
۱۶۵	فصل ۶- رفتار تغییر شکل
۱۶۵	۶-۱- مقدمه
۱۶۶	۶-۲- تغییر شکل ناهمگن
۱۶۷	۶-۳- معیارهای تسلیم شدن: معیار "VON MISES" در مقایسه با معیار "MOHR-COULOMB"
۱۶۸	۶-۴- تغییر شکل پویا و اثر آهنگ کرنش
۱۶۹	۶-۵- کرنش سختی
۱۷۱	۶-۶- جوانه زنی و گسترش نوار برشی
۱۷۳	۶-۷- مقادیر دمایی نوار برشی
۱۷۶	۶-۸- استحکام
۱۷۸	۶-۹- ساختار نوار برشی
۱۸۰	۶-۱۰- مومسانی: ضریب پواسون و شاخص ثابت
۱۸۱	۶-۱۱- کامپوزیت کردن مواد BMG: انعطاف پذیر و چقرمه کردن
۱۸۲	۶-۱۲- تغییر شکل همگن
۱۸۶	مراجع
۱۹۱	فصل ۷. رفتار خستگی و شکست
۱۹۱	۷-۱- مقدمه
۱۹۲	۷-۱-۱- تعاریف
۱۹۲	۷-۱-۲- منحنی عمر-تنش (S-N)
۱۹۳	۷-۲- تست خستگی

۱۹۵	۳-۷- خستگی پرچرخه (HCF)
۱۹۵	۱-۳-۷- رفتار عمر- تنش
۱۹۶	۲-۳-۷- تاثیر محیط
۱۹۶	۳-۳-۷- تاثیر بسامد تنش چرخه ای
۱۹۷	۴-۳-۷- تاثیر دما
۱۹۸	۵-۳-۷- تاثیر تنش متوسط
۱۹۸	۶-۳-۷- تاثیر ریزساختار
۲۰۰	۷-۳-۷- تاثیر ترکیب آلیاژ
۲۰۲	۸-۳-۷- تاثیر پرداخت کاری سطح
۲۰۳	۹-۳-۷- تاثیر روش آزمون
۲۰۴	۱۰-۳-۷- مقایسه ای بین مواد مختلف
۲۰۹	۴-۷- رشد ترک خستگی
۲۰۹	۱-۴-۷- رفتار رشد ترک خستگی
۲۱۳	۲-۴-۷- تاثیر دما
۲۱۵	۵-۷- توصیف مشخصات
۲۱۵	۱-۵-۷- سطح شکست
۲۱۷	۲-۵-۷- تکنیک درجا
۲۱۹	۶-۷- مکانیزم و مدل سازی
۲۱۹	۱-۶-۷- جوانه زنی ترک
۲۲۰	۲-۶-۷- گسترش ترک
۲۲۱	۷-۷- چقرمگی شکست
۲۲۶	۸-۷- موضوعات حل نشده
۲۲۷	۹-۷- نتیجه گیری
۲۲۸	مراجع

۲۳۳	فصل ۸- رفتار خوردگی
۲۳۳	۸-۱- مقدمه
۲۳۴	۸-۲- خوردگی در اثر رطوبت
۲۳۷	۸-۲-۱- مکانیزم جوانه زنی حفره
۲۳۸	۸-۳- خوردگی شیشه های فلزی حجمی
۲۳۹	۸-۳-۱- مواد BMG پایه Cu
۲۳۹	۸-۳-۱-۱- تاثیر ترکیب شیمیایی
۲۴۱	۸-۳-۱-۲- تاثیرات محیط آزمایش
۲۴۲	۸-۳-۲- مواد BMG پایه Fe
۲۴۲	۸-۳-۲-۱- تاثیر ترکیب شیمیایی
۲۴۴	۸-۳-۲-۲- تاثیر محیط آزمایش
۲۴۵	۸-۳-۳- مواد BMG پایه Ni
۲۴۵	۸-۳-۳-۱- تاثیر ترکیب شیمیایی
۲۴۶	۸-۳-۳-۲- تاثیر محیط آزمایش
۲۴۸	۸-۳-۴- مواد BMG پایه Zr
۲۴۹	۸-۳-۴-۱- تاثیر ترکیب شیمیایی
۲۵۰	۸-۳-۴-۲- تاثیر محیط آزمایش
۲۵۳	۸-۳-۵- دیگر سیستم های BMG
۲۵۴	۸-۳-۶- خوردگی مواد BMG در مقایسه با آلیاژهای بلوری
۲۵۵	۸-۳-۷- خلاصه ای از مباحث
۲۵۷	۸-۴- مکانیزم های خوردگی در مواد BMG
۲۵۷	۸-۴-۱- خوردگی عمومی (بکتراخت)
۲۵۷	۸-۴-۲- خوردگی حفره ای
۲۵۹	۸-۵- ملاحظات پایانی
۲۶۰	مراجع
۲۶۷	واژه نامه

پیش گفتار مولفین

شیشه های طبیعی از دوران ابتدائی زمین موجود بوده که بر اثر انجماد سنگ های مذاب آتشفشانی، برخورد صاعقه و شهاب سنگ ها تشکیل می گردند. بازرگانان اهل فنیقه (قلمرو پادشاهی نواحی مدیترانه- سوریه، لبنان و فلسطین امروزی) در حدود ۵۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح از وجود شیشه های طبیعی در سوریه کنونی آگاه بودند. اعتقاد بر این است که اشیای شیشه ای ساخته دست بشر به ۳۵۰۰ سال قبل از میلاد و متعلق به مردمان مصر و بین النهرین شرقی می باشد.

در مقایسه با شیشه های طبیعی، فلزات آمورف یا شیشه های فلزی جزء مواد پیشرفته به حساب می آیند. تا قبل از سال ۱۹۶۰ لایه های نازک آمورف از طریق رسوب فلز بر روی زیر لایه های بسیار سرد تهیه می شدند. در سال ۱۹۶۰ آقایان Willens, Klement و Duwez در انستیتو تکنولوژی کالیفرنیا سنتز آلیاژ فلزی آمورف Au-Si را از طریق سرد کردن بسیار سریع (از دمای ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد به دمای اتاق) گزارش نمودند. جهت تهیه این نمونه به سرعت سرد کردن بالا و در حدود 10^6 K/s نیاز بود تا از تبلور جلوگیری بعمل آمده که این امر باعث محدود شدن ضخامت نمونه تا حد چند میکرومتر گردید. در دهه ۱۹۶۰، آقایان Turnbull و Chen آلیاژهای آمورفی از Pd-Si-Au, Pd-Si-Cu, Pd-Si-Ag را تهیه نمودند.

Chen همچنین آلیاژ Pd-Cu-Si آمورف را با قطر حدود ۱mm که می تواند به عنوان شیشه فلز حجمی در نظر گرفته شود تهیه نمود. در سال ۱۹۷۴، Chen تحقیقات روش مندی را بر روی آلیاژهای پایه Pd-P, Pt-P و Pd-Si به انجام رسانید که منجر به تهیه نمونه با قطر ریختگی بحرانی ۱-۲mm از طریق سرد کردن سریع مذاب آلیاژ در آب از طریق لوله ی موئین مکشی از جنس کوارتز گردید.

در اوایل دهه ۱۹۸۰، گروه تحقیقاتی آقای Turnbull آلیاژهای از جنس Pd-Ni-P را مورد مطالعه قرار داده و شمش های شیشه ای $Pd_{40}Ni_{40}P_{20}$ با قطر ۵mm را تهیه نمودند. در سال ۱۹۸۴ این گروه موفق گردید تا قطر نمونه قالب گیری شده را تا ۱۰mm از طریق فراورش ذوب Pd-Ni-P در یک فلاکس (کمک ذوب) اکسید بور، افزایش دهد.

در اواخر دهه ۱۹۸۰ گروه تحقیقاتی آقای Inoue موفق گردید تا تنوعی از آلیاژهای چند جزئی شیشه فلزات حجمی بر پایه ی عناصر کمیاب که نیازمند سرعت سرد کردن زیر 10^6 K/s (جهت جلوگیری از تشکیل بلور) بوده و با ضخامت در حد چند سانتی متری را تهیه نمایند. سیستم های مذکور به تفصیل در فصل ۱ مورد بحث واقع خواهند گردید.

در سال ۱۹۹۲، آقایان Johnson و Peker شیشه فلز $Zr_{41.2}Cu_{12.5}Ni_{10}Ti_{13.8}Be_{22.5}$ را با سرعت سرد کردن بحرانی ۱ K/s تهیه نمودند. این آلیاژ نخستین شیشه فلز تجاری محسوب می گردد و به عنوان Vitreloy 1 شناخته می شود.

در طی ۴ دهه ی اخیر، ضخامت ریختگی بحرانی بیشتر از ۳ برابر افزایش یافته و از نظر وزنی ترکیبات آمورف چند کیلو گرمی نیز قابل تهیه می باشند.

تا کنون بیش از ۱۰۰۰ نوع شیشه فلز حجمی مختلف شامل سیستم های پایه Pd-Fe-Zr، Ni-Cu-Mg و Ti-تهیه گردیده اند. شیشه فلزات حجمی حوزه ی جدیدی از مواد می باشند که دارای خصوصیتی منحصر به فرد و مطلوب از قبیل استحکام بالا، سختی عالی، مقاومت در برابر سایش خوب و مقاومت در برابر خوردگی بسیار مطلوب بوده و می توان قطعاتی با شکل نهایی و دقت ابعادی بسیار بالا از این مواد تهیه نمود.

کاربرد های فراوانی برای مواد آمورف وجود دارد که دربرگیرنده کاربردهای ساختاری و حتی قطعاتی در ابعاد میکرومتر می باشند. برخی از کاربرد های منحصر به فرد شیشه های فلزی حجمی از قبیل سنسورهای فشار، میکرو چرخ دنده ها، هسته های مغناطیسی جهت کاربرد در منابع تامین برق و نانو قالب ها جهت تولید ابزارهای DVD نسل آینده، در فصل ۱ مطرح می شوند.

تئوری اتمی در خصوص نوسانات و تغییرات توپولوژی موضعی در راستای توصیف حرکات اتمی در شیشه ها و مایعات در فصل ۲ مطرح می گردد. در این خصوص نوسانات و تغییرات توپولوژیکی از طریق تنش های در مقیاس اتمی تبیین و ارزیابی توزیع آنها به ازاء دما خصوصیات حرارتی گوناگونی را مشخص می نماید. این تئوری مبانی انتقال به فاز شیشه، واهلش ساختاری، تشکیل شیشه و تغییر شکل مکانیکی و همچنین اهمیت ضریب پواسون را توصیف خواهد نمود. انتظار می رود تا این تئوری جایگزین تئوری حجم آزاد در جهت شفاف سازی رفتار های پیچیده ی شیشه فلزات حجمی گردد.

شبیه سازی های اتمی شامل پتانسیل های تجربی و محاسبات آغازین (ab initio)، در فصل ۳ بحث می شوند. همچنین کاربرد تئوری جوانه زنی و نقش شبیه سازی های دینامیک مولکولی در شیشه های فلزی حجمی در این فصل گنجانده شده است. در فصل ۴، تشکیل شیشه، توانایی تشکیل شیشه و مکانیسم های آن از دید فیزیکی مورد بحث واقع شده است. مطالعه در مورد ریزساختار منحصر به فرد شیشه های فلزی در فصل ۵ آورده شده است. تکنیک های XRD، SEM، HREM، FEM، FIM، APT، SANS/SAXS، PAS که جهت شناسایی ریز ساختار این مواد آمورف از مراحل اولیه ریخته گری تا مرحله تبلور مورد استفاده واقع می شوند در فصل ۵ مورد بحث واقع می گردد.

تغییر شکل مکانیکی شیشه های فلزی حجمی شامل مباحث استحکام، مومسانی (ضریب پواسون و شاخص ثبات)، تغییر شکل همگن، تغییر شکل دینامیک، تاثیرات آهنگ کرنش، کرنش سختی و جوانه زنی و گسترش نوار برشی و معیارهای تسلیم شدن شیشه های فلزی در فصل ۶ مرور می شوند. همچنین ساختار نوار برشی و همبستگی دما با گسترش نوارهای برشی در این فصل بررسی شده است. رفتارهای خستگی، شکست و خوردگی این مواد در فصل ۷ و ۸ بحث شده اند.

www.ketab.ir