انجمن علمی دانشجویی مواد
۱۳۷۹
دانشگاه تبریز - دانشکده مکانیک
دانشگاه تبریز

سرمت
CERMET

فصل‌نامه دو زبانه انجمن علمی دانشجویی
مهندسی مواد و متالورژی
شماره دهم- پاییز ۱۴۰۵

سازه
مهندسی آینده

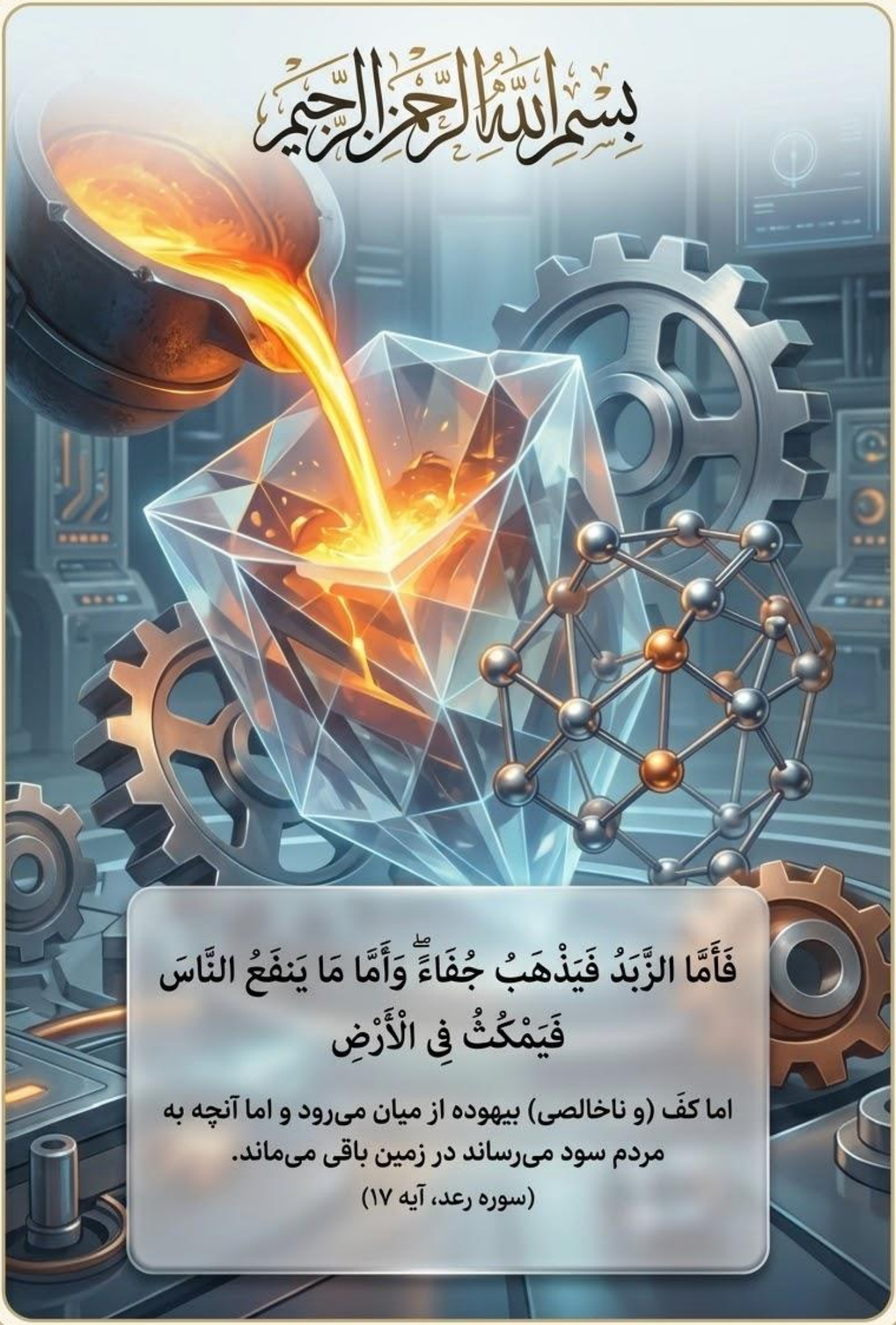
عملکرد هوشمند
متامتریال‌ها

فناوری‌های پیشرفته
لیزر و نیمه‌هادی‌ها

دانش بنیادین
ساختار و خواص مواد

فرآیند و صنعت
ریخته‌گری و کاربردها

بسم الله الرحمن الرحیم



فَأَمَّا الزَّبَدُ فَيَذْهَبُ جُفَاءً ۖ وَأَمَّا مَا يَنفَعُ النَّاسَ فَيَمْكُثُ فِي الْأَرْضِ

اما کفَ (و ناخالصی) بیهوده از میان می‌رود و اما آنچه به مردم سود می‌رساند در زمین باقی می‌ماند.

(سوره رعد، آیه ۱۷)

شناسنامه

صاحب امتیاز: انجمن علمی-دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه تبریز

استاد مشاور: دکتر محمد علیپور

مدیر مسئول: میلاد مزمل حکم آبادی

سردبیر: سارینا اشرفی

ویراستار علمی: میلاد مزمل حکم آبادی

ویراستار ادبی: سارینا خسروی

گرافیک و صفحه آرایی: سارینا اشرفی

شماره مجوز: ک.ن.ت ۴/۸۱

اعضای هیئت تحریریه: امیرحسین شیخی، امیرحسین سلطانی، کوثر رضائی، امین رضائی، مانی قاسمی، سارینا اشرفی، پارسا پورناجی ایران، مهدی احمدیان، امیرحسین مرجوعی، محمدمانی پاکدل، بهراد صدیقی کیا

فهرست مطالب

فصلنامه انجمن علمی دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی | شماره دهم – پاییز 1405

01 پنجره علم

مقالات علمی

مقدمه‌ای بر ساختار، خواص و رفتار مواد پیزوالکتریک 8

از سلول تا سازه؛ دنیای شگفت‌انگیز متامتریال‌ها 14

02 کافه کلاس

آموزش مهندسی مواد

ریخته‌گری؛ فرآیندی برای شکل‌دهی به آینده 19

03 در مسیر صنعت

گزارش بازدیدهای علمی و صنعتی

از صنعت تا مهارت؛ تور علمی چهارگانه، سفر به دنیای دگرگونی مواد 29



04 روایت دانشگاه

گفت‌وگو و دیدگاه دانشجویان

گفت‌وگو با دکتر میر سامان صفوی 37

آنچه دانشجویان می‌گویند؛ روایتی از نقاط قوت و چالش‌های محیط دانشگاهی 40

05 رادار فناوری

اخبار و تازه‌های علم مواد

مرزهای نوظهور در دانش و فناوری مواد پیشرفته 43

06 فراتر از مرزها

مقالات بین‌المللی

Effects of Rare-Earth Element Doping on YAG for Laser Applications 46

The Rise of Wide-Bandgap Semiconductors: Materials, Properties, Applications, and Future Outlook 58

شماره‌های منتشر شده



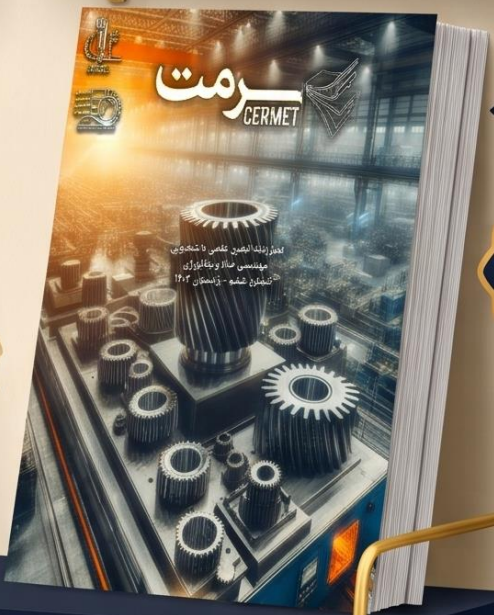
شماره نهم - پاییز ۱۴۰۳



شماره هشتم - تابستان ۱۴۰۳



شماره هفتم - بهار ۱۴۰۳



شماره ششم - زمستان ۱۴۰۲

انجمن علمی دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی - دانشگاه تبریز

راه‌های ارتباطی

نشریه علمی دانشجویی سرمت (CERMET)

cermet.journal@

CermetJournal@



انجمن علمی مهندسی مواد و متالورژی

material_tabrizuni

Material_t@



آدرس: تبریز، خیابان آزادی، گلباد، دانشگاه تبریز، دانشکده فنی مهندسی مکانیک، طبقه سوم، انجمن علمی مهندسی مواد و متالورژی

سخن سردبیر

به نام دانایی، به سوی فردا

گاهی یک مسیر با یک پرسش ساده آغاز می‌شود؛ پرسشی درباره آنچه می‌دانیم، آنچه هنوز نمی‌دانیم و آنچه می‌توانیم با آموختن و تلاش به آن دست پیدا کنیم.

«سرمت» برای من فراتر از مجموعه‌ای از مقاله‌ها و مطالب علمی است؛ تلاشی است برای ساختن فضایی که در آن ایده‌ها فرصت دیده‌شدن پیدا کنند، دانشجویان صدای رسای خود را داشته باشند و دانش از صفحات سرد کتاب‌ها فراتر رود تا به تجربه، خلاقیت و دنیای پرتحرک صنعت پیوند بخورد.

در این شماره نیز کوشیده‌ایم نگاهی گسترده‌تر و عمیق‌تر به جهان مهندسی مواد و متالورژی داشته باشیم. در همین راستا، به بررسی رفتار مواد پیزوالکتریک و دنیای شگفت‌انگیز متامتریال‌ها پرداخته و با فرآیند ریخته‌گری، تجربه‌های ارزشمند بازدیدهای صنعتی و تازه‌ترین دستاوردهای فناوری آشنا می‌شویم. همچنین در کنار این مباحث تخصصی، پای صحبت پژوهشگران نشسته‌ایم تا دغدغه‌ها و دیدگاه‌های دانشجویان را بی‌واسطه بشنویم. در نهایت نیز با همراهی دو مقاله بین‌المللی، پنجره‌ای به سوی پژوهش‌های فراتر از مرزها گشوده‌ایم.

باور دارم ارزش یک نشریه علمی تنها به تعداد مقالات منتشرشده یا موضوعات تخصصی آن نیست، بلکه به میزان تأثیری است که در ایجاد انگیزه برای یادگیری، پرسشگری و حرکت به سوی تجربه‌های تازه می‌گذارد. دانشگاه تنها محل آموختن دانسته‌ها نیست؛ بلکه زیست‌گاهی برای پرورش نگاه نقادانه، شکل‌گیری ایده‌های نو و جسارت در نوردیدن مسیرهایی است که شاید پیش از این کمتر به آن‌ها اندیشیده‌ایم.

البته هیچ دستاورد ارزشمندی بدون همراهی و تلاش جمعی شکل نمی‌گیرد. انتشار هر شماره، حاصل ساعت‌ها مطالعه، گفتگو، طراحی، نگارش، بازبینی و همکاری همدلانه افرادی است که شاید نام همه‌شان در این صفحات دیده نشود، اما سهم بی‌بدیلشان در شکل‌گیری این اثر انکارناپذیر است. از تمام نویسندگان، اعضای هیئت تحریریه، همکاران و همراهانی که در مسیر آماده‌سازی این شماره صمیمانه و بی‌شائبه کنار ما بوده‌اند، سپاسگزارم.

امیدوارم «سرمت» همواره فضایی پویا برای اندیشیدن، آموختن و به اشتراک گذاشتن ایده‌ها باقی بماند؛ جایی که هر شماره‌اش نه پایان یک راه، بلکه آغازگر پرسشی تازه باشد.

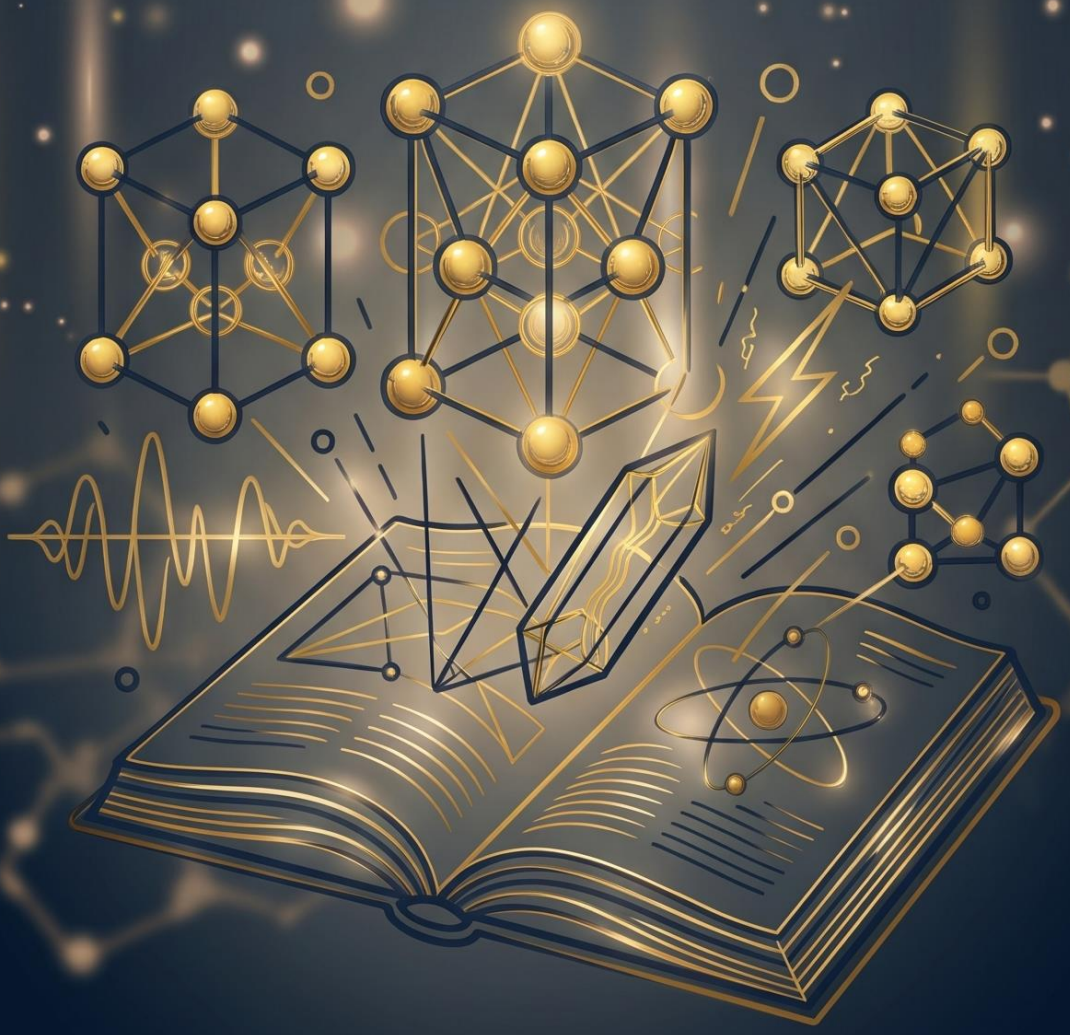
به امید روزهایی که در آن، مرزهای دانستن ما هر روز فراتر روند.

سارینا اشرفی

سردبیر نشریه علمی ـ دانشجویی سرمت

پنجره علم

مقالات علمی



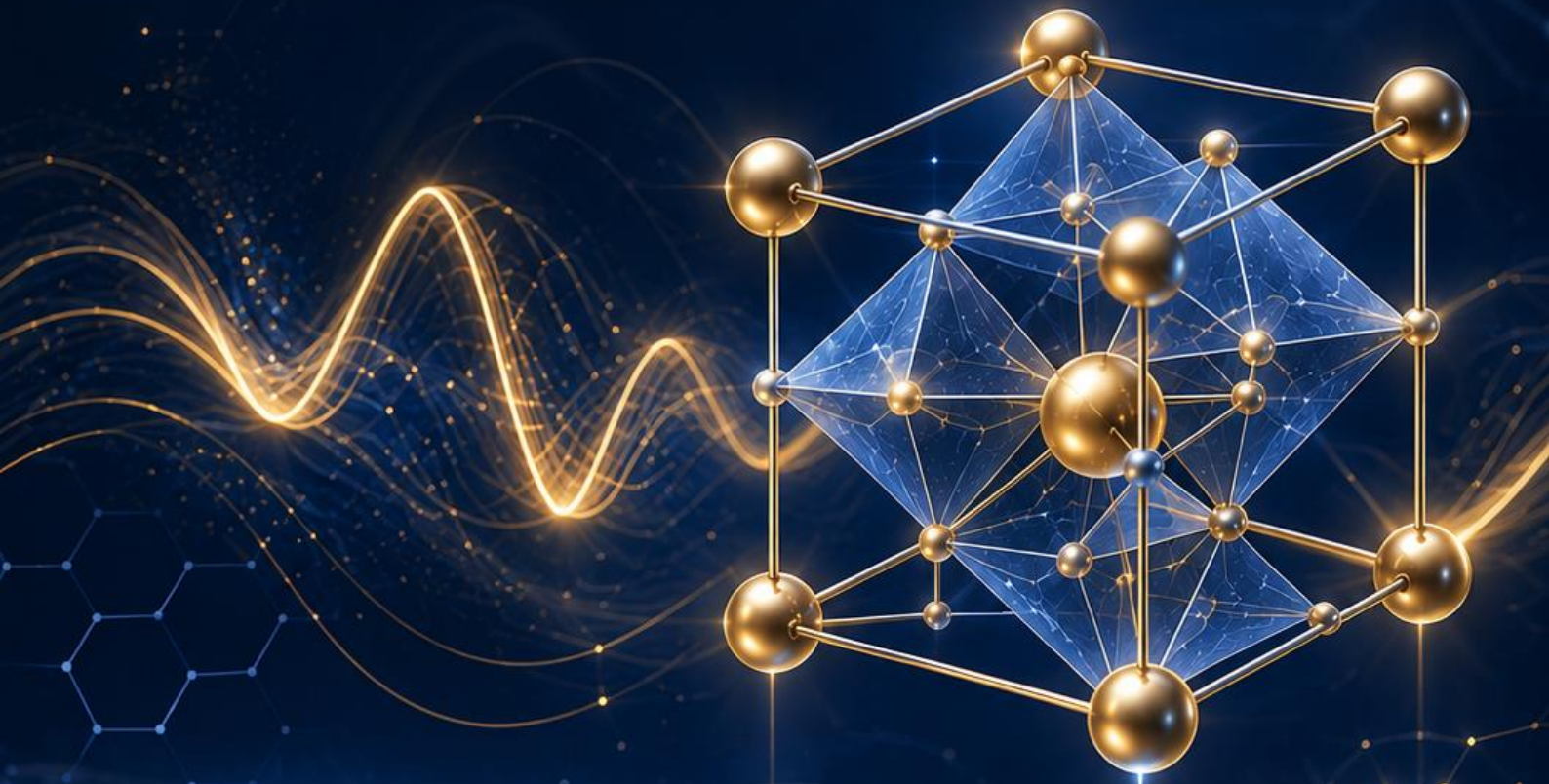
فصلنامه انجمن علمی - دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی

مقدمه‌ای بر
ساختار، خواص و رفتار
مواد پیزوالکتریک



امیرحسین شیخی

دانشجوی کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه تبریز



چکیده

در این مقاله اثر پیزوالکتریسیته، تاریخچه کشف آن و ساختار مواد پیزوالکتریک به‌ویژه سرامیک‌های پیزوالکتریک بررسی شده است؛ به‌علاوه منشأ ریزساختاری این خاصیت تبیین گردیده و روابط بنیادی حاکم بر رفتار الکترومکانیکی این مواد ارائه شده است، در ادامه، کاربردهای صنعتی این مواد و امکان بهره‌گیری از آن‌ها در تولید انرژی الکتریکی پاک مورد تحلیل قرار گرفته است.

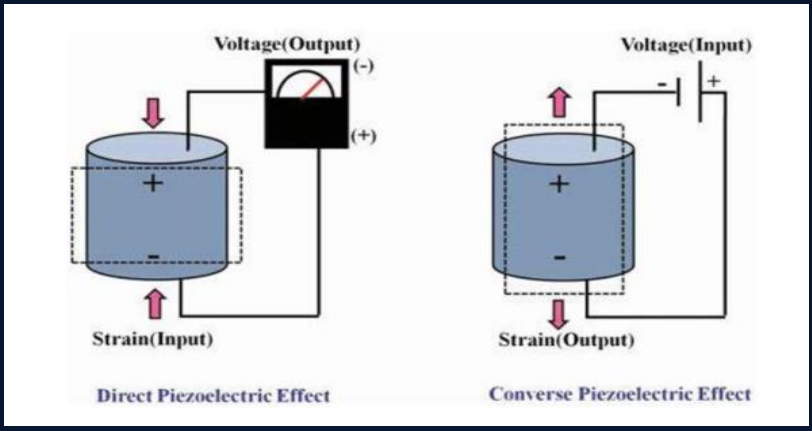
کلیدواژه‌ها: پیزوالکتریسیته، سرامیک‌های پیزوالکتریک، مواد هوشمند، PZT، ساختار پروسکایتی

مقدمه

از چالش‌های مهم قرن حاضر، مسائل زیست‌محیطی ناشی از مصرف گسترده سوخت‌های فسیلی است. گرمایش جهانی، کاهش منابع آب، آلودگی خاک و هوا و افزایش بیماری‌های ناشی از آلودگی از پیامدهای این روند محسوب می‌شوند. بر اساس گزارش‌های آماری سال ۲۰۲۳، بیش از ۶۰ درصد انرژی الکتریکی جهان از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر همچنان محدود است. در ایران نیز بخش عمده تولید برق وابسته به سوخت‌های فسیلی است. در چنین شرایطی، توسعه فناوری‌هایی که بتوانند بدون ایجاد اختلال در زندگی روزمره، انرژی پاک تولید کنند اهمیت ویژه‌ای دارد. مواد پیزوالکتریک یکی از گزینه‌های نوین در این حوزه به شمار می‌روند.

۱: اثر پیزوالکتریسیته

پیزوالکتریسیته به پدیده‌ای اطلاق می‌شود که در آن برخی مواد کریستالی در اثر اعمال تنش مکانیکی، بار الکتریکی تولید می‌کنند. این پدیده شامل دو اثر مستقیم و معکوس است. در اثر مستقیم، اعمال فشار موجب ایجاد اختلاف پتانسیل الکتریکی در دو سطح ماده می‌شود. در اثر معکوس، اعمال میدان الکتریکی باعث تغییر شکل مکانیکی ماده می‌گردد. شرط اساسی بروز این خاصیت، نبود مرکز تقارن در سلول واحد کریستالی است که امکان جهت‌گیری دوقطبی‌های الکتریکی را فراهم می‌سازد.



شکل ۱: شماتیکی از اثر پیزو الکتریک مستقیم و معکوس.

۲: تاریخچه مواد پیزوالکتریک

اثر پیزوالکتریک در سال ۱۸۸۰ توسط برادران کوری کشف شد. پس از آن، اثر معکوس به صورت نظری پیش‌بینی و سپس تأیید شد. در جنگ‌های جهانی، این مواد در ساخت سونار، هیدروفون و تجهیزات نظامی به کار گرفته شدند. با توسعه سرامیک‌های پلی‌کریستال مانندPZT ، کاربردهای صنعتی این مواد به‌طور چشمگیری گسترش یافت.

جدول (۱) سیری از کشف تا بهره‌گیری از مواد پیزوالکتریک را بیان میکند

سال	نام محقق/ موسسه / دانشمند	توضیحات
۱۸۱۷	رونه ژوست آئوئی	برای اولین بار مواد پیزوالکتریک توسط وی گزارش شد
۱۸۸۰	ژاکوپ کوری و پیئری کوری	برادران کوری تنها اثر مستقیم پیزو الکتریک ها را معرفی و برسی کردند
۱۸۸۱	لیپمان	معرفی اثر پیزو الکتریک معکوس بر اساس استنتاجات ریاضی
۱۸۸۱	هانکل	اثر پیزو الکتریک معکوس پیزو الکتریسیته نام گرفت
	پالکز و دوئم	فرمول بندی کامل پیزو الکتریسیته
۱۹۱۰	فوکت	انتشار هند بوک با تمامی مفاهیم و شناخت های تا آن زمان
۱۹۲۰	کیدی	استفاده از کوارتز را برای کنترل فرکانس تشدیدی نوسانگر ها پیشنهاد کرد
۱۹۷۱	ونگ و همکاران	مدلی برای درنظر گرفتن پیزو الکتریک ها به صورت ناهمسانگرد
۱۹۷۱	پاول لانژون	طراحی و ساخت یک موج یاب (هیدروفون) برای زیر دریایی
۱۹۷۴	شرکت سونوتو	تهیه قطعات گرامافون های خانگی
۱۹۸۱	چندین شرکت و دانشگاه ژاپنی	تشکیل کمیته تقیقات بر روی تیتانات باریم

۳: مواد هوشمند و جایگاه پیزوالکتریک‌ها

مواد هوشمند موادی هستند که قادر به تشخیص تغییرات محیطی و پاسخ کنترل‌شده به آن‌ها می‌باشند. این مواد معمولاً شامل حسگر و محرک هستند. سرامیک‌های پیزوالکتریک به دلیل توانایی تبدیل انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی و بالعکس، یکی از مهم‌ترین گروه‌های مواد هوشمند محسوب می‌شوند.

۴: مواد پیزوالکتریک

پیزو الکتریک‌ها جامدات کریستالی هستند که دارای خاصیت پیزو الکتریسیته هستند که پیشتر این خاصیت مورد بررسی قرار گرفت.

۴-۱ تقسیم‌بندی

مواد پیزوالکتریک به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

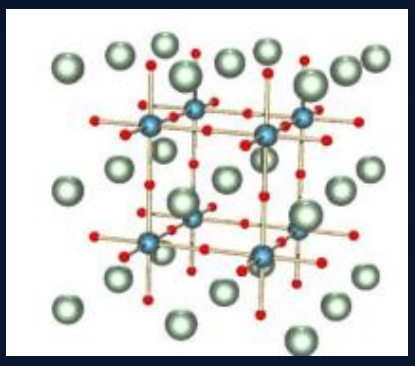
۱: پلیمری (PVDF)

۲: سرامیکی (PZT)

مواد پلیمری انعطاف‌پذیرتر بوده و عمدتاً در حسگرها کاربرد دارند، در حالی که سرامیک‌های پیزوالکتریک به دلیل سختی و پایداری بالاتر، در محرک‌ها و کاربردهای توان بالا استفاده می‌شوند.

۴-۲ ساختار کریستالی

بیشتر سرامیک‌های پیزوالکتریک دارای ساختار پروسکایتی با فرمول کلی ABO_3 هستند. نمونه شاخص آن باریم تیتانات ($BaTiO_3$) است. در این ساختار، یون A در گوشه‌های سلول واحد، یون B در مرکز و یون‌های اکسیژن در مراکز وجوه قرار دارند. جایگزینی یون‌ها در این ساختار می‌تواند خواص الکتریکی و فروالکتریکی ماده را تغییر دهد. (شکل ۲) تجسمی از سلول واحد این ساختار را تجسم می‌کند.



شکل ۲: تجسم فضایی از صفحات اتمی ساختارهای پروکسیتی.

۴-۳ فرایند تولید

تولید سرامیک‌های پیزوالکتریک معمولاً از طریق متالورژی پودر انجام می‌شود. ابتدا پودرهای اولیه با نسبت مشخص مخلوط شده، سپس شکل‌دهی و عملیات زینترینگ انجام می‌گیرد. پس از تولید، قطعه در حضور میدان الکتریکی قوی و در دمای نزدیک به دمای کوری قطبی‌سازی می‌شود. این فرایند موجب هم‌راستایی دوقطبی‌ها و ایجاد قطبش دائمی در ماده می‌شود.

۴-۴ عملکرد

در اثر اعمال تنش مکانیکی، آرایش دوقطبی‌ها تغییر کرده و اختلاف پتانسیل الکتریکی ایجاد می‌شود. این ولتاژ توسط الکترودهای سطحی قابل اندازه‌گیری است. در حالت معکوس، اعمال میدان الکتریکی موجب تغییر ابعاد مکانیکی ماده می‌شود. این رفتار ناشی از کوپلینگ الکترومکانیکی در ساختار غیرمرکزی کریستال است.

۴-۵ روابط ریاضی

روابط ریاضی حاکم در پیزو الکتریک‌ها برای روابطی است تنش‌های مکانیکی و الکتریکی ، تغییرات طول، کرنش‌ها را به هم مرتبط می‌سازد . می‌دانیم که تمامی تحولات موجود در یک پیزوالکتریک در سه‌بعد رخ می‌دهد به همین منظور تنها ابزاری که می‌توانند این پارامترها را به هم مرتبط سازند ؛ تانسورها هستند.

فرض می‌کنیم که: تانسور مرتبه دوم Sij حالت کرنش و Tkl حالت تنش باشند ؛ روابطی وجود خواهد داشت که

تانسور تنش را به تانسور کرنش تسلیم Sijkl و سختی Cijkl مرتبط می‌سازد؛ همچنین رابطه بین تانسور مرتبه اول میدان الکتریکی Ej با جابجایی الکتریکی Di با ثابت دی الکتریک Eij ایجاد می‌شود.

در نتیجه خواهیم داشت:

$$Di = ETij \,.Ej + dijk\ Tjk$$

$$Sij = dijk\ Ek + ESijkl\ Tkl$$

اگر فرض کنیم D چگالی بار جابجا شده و ε ضریب نفوذپذیری و E هم میدان الکتریکی باشد وT را میزان بار و S را کرنش یا فشار و s را میزان تاثیر کرنش بیان کنیم داریم:

$$S = sT \ , \ D = \varepsilon E$$

حال از ادغام روابط بالا دو رابطه پایین را میتوان بدست آورد

$$\{ S \} = [sE]\{T\} + [d\ t]\{E\} \qquad \{D\} = [d]\{T\} + [\ \varepsilon\ E]\{\ E\}$$

۵: استفاده در تولید انرژی

در دهه‌های اخیر ایده استفاده از پیزوالکتریک‌ها در کف‌پوش‌ها و معابر پرتردد مطرح شده است. در این روش، انرژی ناشی از عبور افراد یا خودروها به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شود. با وجود چالش‌هایی مانند شکنندگی سرامیک‌ها، هزینه تولید و راندمان محدود، توسعه کامپوزیت‌های پیزوالکتریک و بهبود طراحی ساختاری می‌تواند بهره‌وری این فناوری را افزایش دهد.

۶: نتیجه‌گیری

سرامیک‌های پیزوالکتریک به دلیل کوپلینگ الکترومکانیکی قوی، جایگاه مهمی در صنایع پیشرفته دارند. پیشرفت در مهندسی ریزساختار، طراحی کامپوزیت‌ها و بهینه‌سازی فرایند تولید می‌تواند زمینه توسعه کاربردهای پایدار این مواد را فراهم سازد و گامی مؤثر در افزایش بهره‌وری انرژی باشد.

Refrences

از سلول تا سازه،

دنیای شگفت‌انگیز

متامتریال‌ها

مرز جدید مهندسی مواد و مکانیک



امیرحسین سلطانی

دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز

01

چکیده

در سال‌های اخیر، پژوهش در حوزه متامتریال‌ها مرزهای علم مکانیک را فراتر از مواد سنتی گسترش داده است. این مواد نه بر پایه ترکیب شیمیایی، بلکه بر اساس معماری هندسی درونی خود طراحی می‌شوند و می‌توانند ویژگی‌هایی از جمله چگالی مؤثر منفی، ضریب پواسون منفی و پاسخ‌های غیرخطی قابل‌برنامه‌ریزی بروز دهند که در مواد طبیعی مشاهده نمی‌شود. پیشرفت در مدل‌سازی عددی، چاپ سه‌بعدی و بهینه‌سازی توپولوژیکی سبب شده است طراحی متامتریال‌ها از سطح مفهومی به مرحله کاربردهای صنعتی نزدیک شود. در این مقاله، ضمن مرور مبانی مکانیکی این ساختارها، رفتار تنش ـ کرنش مؤثر، روش‌های شبیه‌سازی عددی و کاربردهای نوین آن‌ها در مهندسی مکانیک بررسی می‌شود.

مقدمه

مفهوم متامتریال نخست در فیزیک امواج الکترومغناطیسی مطرح شد؛ اما طی دو دهه اخیر، با پیشرفت فناوری‌های ساخت افزایشی و مدل‌سازی محاسباتی، وارد حوزه مکانیک جامدات و سیالات شده است. در مکانیک کلاسیک، رفتار ماده تابع خواص ذاتی نظیر مدول یانگ و ضریب پواسون است. بااین‌حال، در متامتریال‌ها رفتار مکانیکی عمدتاً از معماری داخلی ساختار ناشی می‌شود. به بیان دیگر، هندسه سلول‌های تکرارشونده تعیین‌کننده پاسخ ماکروسکوپی ماده است. این تحول، تغییری بنیادین در تعریف ماده ایجاد کرده است؛ ماده دیگر یک سامانه ثابت طبیعی نیست، بلکه سیستمی قابل طراحی و بهینه‌سازی‌شده محسوب می‌شود.

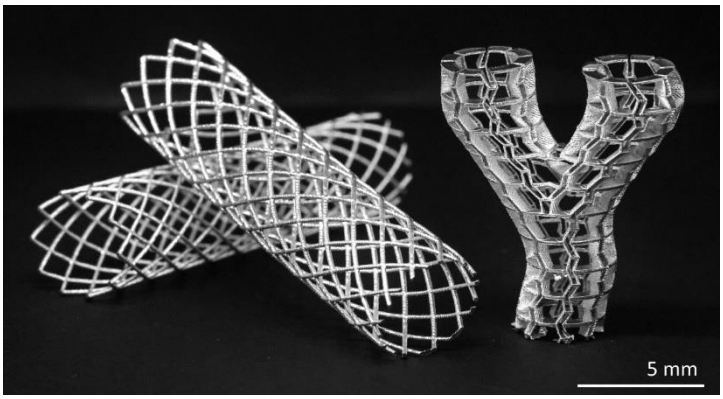
مبانی مکانیکی و رفتار مؤثر

متامتریال‌ها از سلول‌های هندسی تکرارشونده تشکیل می‌شوند که رفتار ماکروسکوپی را کنترل می‌کنند. با استفاده از نظریه مدول مؤثر، می‌توان پاسخ کلی ماده را از میانگین رفتار این سلول‌ها استخراج کرد. مطالعات نشان داده‌اند که برخی ساختارهای لانه‌زنبوری با ضریب پواسون منفی، نسبت به مواد هم‌وزن خود ظرفیت جذب انرژی به‌مراتب بیشتری دارند. یکی از ویژگی‌های کلیدی متامتریال‌ها، رفتار غیرخطی قابل برنامه‌ریزی آن‌هاست. با تغییر هندسه سلول واحد، می‌توان مسیر بارگذاری و پاسخ تنش–کرنش ماده را کنترل کرد. این ویژگی در طراحی مواد تطبیق‌پذیر و سامانه‌های رباتیک نرم اهمیت ویژه‌ای دارد.

شبیه‌سازی عددی و طراحی ساختاری

تحلیل متامتریال‌ها عمدتاً نیازمند روش‌های عددی است، زیرا روابط تحلیلی کلاسیک برای هندسه‌های پیچیده کفایت نمی‌کند. روش المان محدود همراه با اعمال شرایط مرزی تناوبی از ابزارهای رایج در تحلیل این ساختار هاست. در این رویکرد، رفتار کل ساختار از تحلیل یک سلول تکرارشونده استخراج می‌شود.

بهینه‌سازی توپولوژیکی نیز نقش مهمی در طراحی متامتریال‌ها دارد. در این روش، توزیع بهینه ماده در سلول واحد باهدف بیشینه‌سازی استحکام، جذب انرژی یا کنترل سختی تعیین می‌شود. ترکیب این رویکرد با الگوریتم‌های یادگیری ماشین، امکان طراحی ساختارهایی با خواص هدفمند و ازپیش‌تعیین‌شده را فراهم کرده است.



فناوری ساخت و کاربردهای صنعتی

پیشرفت چاپ سه‌بعدی در فلزات، پلیمرها و سرامیک‌ها مسیر ساخت متامتریال‌های پیچیده را هموار کرده است. کاربردهای این مواد در صنایع مختلف رو به گسترش است که از جمله این کاربردها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱: هوافضا: طراحی سازه‌های سبک با مقاومت بالا در برابر ارتعاش

۲: مهندسی زیستی: ساخت ایمپلنت‌هایی با مدول نزدیک به بافت استخوان

۳: عمران و آکوستیک: توسعه مواد جاذب صوت و کنترل‌کننده ارتعاش

۴: رباتیک نرم: ایجاد سازوکارهای حرکتی سازگار با نیروهای محیطی

متامتریال‌ها به‌عنوان پلی میان مکانیک کلاسیک و طراحی هوشمند شناخته می‌شوند و جایگاه مهمی در آینده فناوری‌های مهندسی خواهند داشت.

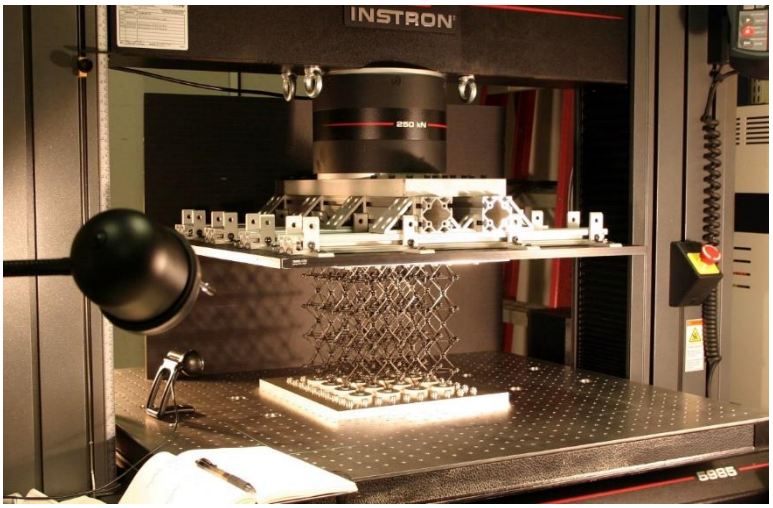
03 چالش‌ها و مسیر آینده

باوجود قابلیت‌های چشمگیر، توسعه متامتریال‌ها با چالش‌هایی از جمله دشواری تولید در مقیاس صنعتی، حساسیت خواص مکانیکی به خطاهای ساخت و پیچیدگی مدل‌سازی رفتار دینامیکی همراه است. پژوهش‌های جدید به سمت توسعه متامتریال‌های چند فیزیکی با کوپلینگ حرارتی ـ مکانیکی یا مغناطیسی ـ مکانیکی حرکت کرده‌اند؛ همچنین استفاده از هوش مصنوعی در طراحی خودکار این ساختارها روندی روبه‌رشد است.

در آینده، انتظار می‌رود متامتریال‌ها به سامانه‌هایی هوشمند و حتی خودترمیم‌شونده تبدیل شوند که بتوانند خواص خود را با شرایط محیطی تطبیق دهند.

نتیجه‌گیری

مکانیک متامتریال‌ها چشم‌اندازی نو در مهندسی مواد و مکانیک ارائه می‌دهد؛ جایی که رفتار ماده نه صرفاً تابع ترکیب شیمیایی، بلکه نتیجه معماری مهندسی‌شده آن است. ترکیب مدل‌سازی عددی، ساخت افزایشی و الگوریتم‌های هوشمند، امکان طراحی موادی با عملکرد فراتر از محدودیت‌های متعارف را فراهم کرده است. متا متریال‌ها نشان‌دهنده گذار از «تحلیل خواص مواد» به «مهندسی رفتار مواد» هستند و بی‌تردید نقش مهمی در آینده فناوری‌های پیشرفته ایفا خواهند کرد.



کافه کلاس

آموزش مهندسی مواد

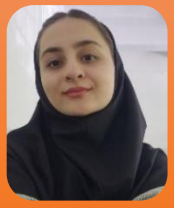


فصلنامه انجمن علمی - دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی

ریخته‌گری

فرآیندی برای شکل دهی به آینده

ریخته‌گری از روش های کهن شکل دهی فلزات است؛ روشی که با وجود گذشت قرن‌ها، همچنان جایگاهی بنیادین در تولید صنعتی دارد. در این فرآیند، فلز مذاب درون قالب ریخته می‌شود و پس از انجماد، شکل نهایی قطعه به دست می‌آید. گسترش صنایع خودروسازی، هوافضا، نفت و گاز و تجهیزات صنعتی، نیاز به قطعاتی با دقت ابعادی بالا، کیفیت سطح مطلوب و خواص مکانیکی مناسب را بیش از پیش افزایش داده است.





کوثر رضائی

امین رضائی

دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع دانشگاه تبریز

ریخته‌گری در یک نگاه



ریخته‌گری فرآیند تولید قطعات با ریختن فلز مذاب در قالب است.

ریخته‌گری امکان تولید قطعاتی با اشکال پیچیده و ابعاد متنوع را فراهم می‌کند که این فرآیند در مقایسه با روش‌های دیگر از نظر اقتصادی مقرون به صرفه است و در بسیاری از صنایع مثل صنایع سنگین، هوافضا و صنایع فولادی اهمیت ویژه‌ای دارد.

روش‌های ریخته‌گری

روش‌های ریخته‌گری به طور کلی به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند:

۱- ریخته‌گری در قالب‌های موقت (مصرفی)

۲- ریخته‌گری در قالب‌های دائمی (فلزی)

هر یک از این روش‌ها، بسته به جنس آلیاژ، هندسه قطعه، تیراژ تولید، کیفیت موردنیاز و محدودیت‌های اقتصادی، مزایا و محدودیت‌های خاص خود را دارند.

۱- ریخته‌گری در قالب‌های موقت

در این روش‌ها قالب پس از هر بار ریخته‌گری تخریب می‌شود. مهم ترین مزیت این گروه، هزینه نسبتا پایین ساخت قالب و انعطاف‌پذیری مناسب در تولید قطعات با هندسه‌های پیچیده است. انواع روش های ریخته‌گری موقت عبارت است از:



۱: ریخته‌گری ماسه‌ای

ریخته‌گری ماسه‌ای از روش‌های متداول ریخته‌گری صنعتی است و امکان تولید طیف گسترده‌ای از قطعات از آلیاژهای آهنی و غیرآهنی را فراهم می‌کند.

ریخته‌گری ماسه ای ۲ نوع دارد:

الف) ماسه‌تر

در این روش، قالب از ماسه‌ای با رطوبت مشخص ساخته می‌شود و پس از شکل‌دهی، بدون خشک‌کردن کامل مورد استفاده قرار می‌گیرد. هزینه پایین، سادگی فرآیند و امکان تولید قطعات بزرگ از مزایای اصلی آن است؛ بااین‌حال، دقت ابعادی و کیفیت سطح آن معمولاً از برخی روش‌های پیشرفته‌تر پایین‌تر است.

ب) ماسه‌خشک

در این فرآیند، قالب پس از شکل‌دهی خشک می‌شود. خشک‌کردن قالب می‌تواند استحکام آن را افزایش داده و در برخی شرایط به بهبود کیفیت سطح و دقت ابعادی کمک کند؛ در مقابل، زمان و هزینه تولید افزایش می‌یابد.



۲: ریخته‌گری با فرآیند CO_2

در این روش، از چسب سیلیکات سدیم استفاده می‌شود و عبور گاز دی‌اکسیدکربن (CO_2) موجب سخت‌شدن سریع‌تر مخلوط ماسه و چسب می‌گردد. این فرآیند استحکام مناسب قالب و دقت ابعادی مطلوبی ایجاد می‌کند؛ بااین‌حال، قابلیت فروپاشی قالب پس از انجماد می‌تواند نسبت به برخی روش‌های ماسه‌ای محدودتر باشد.



۳: ریخته‌گری دقیق(Investment Casting)

ریخته‌گری دقیق با استفاده از مدل‌های مومی و پوسته‌های سرامیکی انجام می‌شود. ویژگی برجسته این روش، امکان تولید قطعاتی با دقت ابعادی بالا، دیواره‌های نسبتاً نازک و هندسه‌های پیچیده است. ازاین‌رو، این فرآیند در صنایعی همچون هوافضا، پزشکی و تولید قطعات دقیق مهندسی کاربرد گسترده‌ای دارد.

۴: ریخته‌گری پوسته‌ای

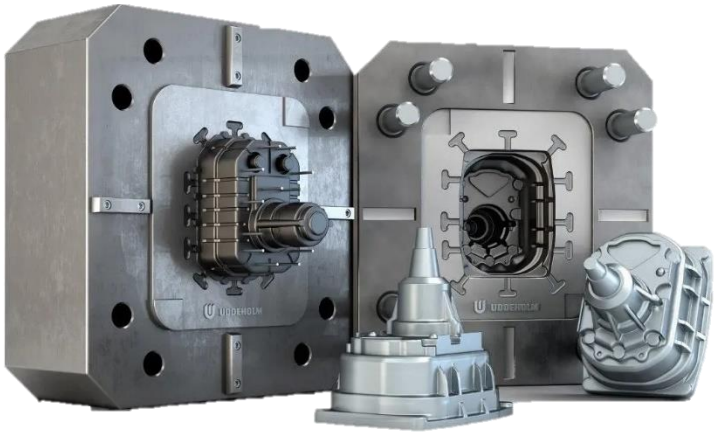


در این روش، مخلوطی از ماسه و رزین گرماسخت بر روی مدل فلزی گرم‌شده قرار می‌گیرد و پوسته‌ای نسبتاً نازک و مستحکم شکل می‌دهد. در مقایسه با ریخته‌گری ماسه‌تر، این روش معمولاً دقت ابعادی و صافی سطح بهتری فراهم می‌کند؛ بااین‌حال، هزینه تجهیزات و ساخت مدل فلزی بالاتر است.

ریخته‌گری در قالب‌های دائمی

در این گروه، قالب فلزی برای تولید چندین قطعه یا تعداد زیادی قطعه مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگرچه هزینه اولیه ساخت قالب در این روش‌ها بالاست، استفاده مکرر از قالب موجب می‌شود که در تولید انبوه، هزینه تمام‌شده هر قطعه کاهش یافته و فرآیند از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه‌تر شود. . انواع روش های ریخته‌گری دائمی عبارت است از:

۱: ریخته‌گری تحت فشار (دایکاست)



در این فرآیند، فلز مذاب با فشار نسبتاً بالا وارد قالب فلزی می‌شود و در همان شرایط تحت فشار منجمد می‌گردد. مهم‌ترین مزایای این روش عبارت‌اند از:

- امکان تولید قطعات با هندسه‌های پیچیده
- قابلیت تولید قطعات با ضخامت‌های نسبتاً کم
- سرعت بالای تولید
- دقت ابعادی مطلوب

دایکاست به‌ویژه برای تولید انبوه مناسب است؛ هرچند هزینه اولیه تجهیزات و قالب در آن قابل‌توجه است.

۲: ریخته‌گری گریز از مرکز

در این روش، قالب در حال چرخش است و نیروی گریز از مرکز موجب حرکت و توزیع مذاب در داخل قالب می‌شود. این فرآیند به‌ویژه برای تولید قطعات استوانه‌ای و لوله‌ای کاربرد دارد و می‌تواند به کاهش برخی عیوب مرتبط با حفره‌ها و جدایش ناخالصی‌ها در ناحیه مناسب کمک کند.



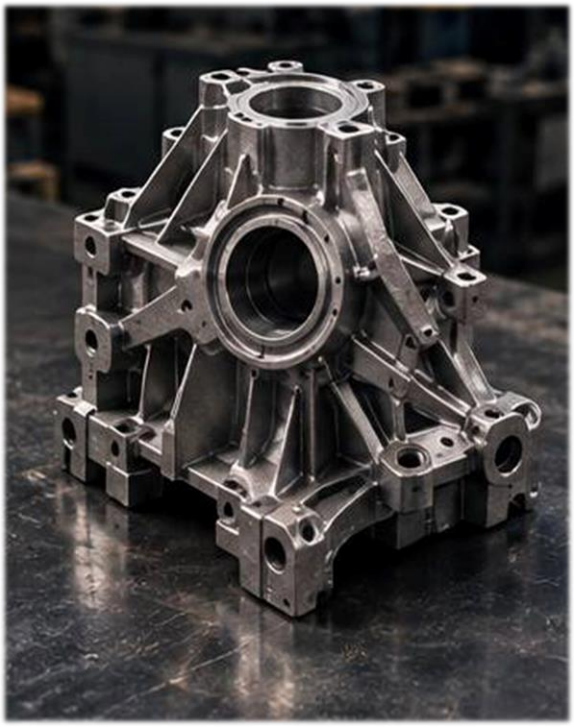
تحلیل مقایسه‌ای و کاربرد صنعتی

انتخاب فرآیند مناسب ریخته‌گری به مجموعه‌ای از عوامل فنی و اقتصادی وابسته است. به‌طور کلی:

- در شرایطی که سرمایه‌گذاری اولیه محدود باشد، ریخته‌گری ماسه‌تر گزینه‌ای اقتصادی محسوب می‌شود.
- برای تولید انبوه و دستیابی به سرعت بالای تولید، ریخته‌گری تحت فشار گزینه‌ای مناسب است.
- برای تولید قطعات بزرگ، روش‌های ماسه‌ای ــ بسته به الزامات قطعه ــ می‌توانند انتخاب مناسبی باشند.
- برای قطعات پیچیده و دقیق با تلرانس‌های محدود، ریخته‌گری دقیق یا دایکاست برتری بیشتری دارند.
- برای قطعات لوله‌ای و استوانه‌ای، ریخته‌گری گریز از مرکز کاربرد ویژه‌ای دارد.

بنابراین، انتخاب فرآیند ریخته‌گری را نمی‌توان مستقل از تیراژ تولید، کیفیت موردنیاز، جنس آلیاژ، هندسه قطعه و محدودیت‌های اقتصادی انجام داد.

جمع‌بندی



ریخته‌گری همچنان یکی از ارکان مهم تولید صنعتی به شمار می‌رود. قالب‌های موقت، با وجود محدودیت‌هایی در دقت ابعادی و کیفیت سطح، به دلیل انعطاف‌پذیری و هزینه نسبتاً پایین، برای تولید محدود، قطعات بزرگ و هندسه‌های متنوع گزینه‌ای ارزشمند هستند. در مقابل، قالب‌های دائمی، با وجود نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه بیشتر، در تولید انبوه می‌توانند از نظر یکنواختی، سرعت تولید و کیفیت قطعات مزیت قابل‌توجهی داشته باشند.

در نهایت، نمی‌توان یک روش ریخته‌گری را به‌صورت مطلق برتر از سایر روش‌ها دانست. روش بهینه، حاصل موازنه میان شاخص‌های فنی و اقتصادی است؛ موازنه‌ای که در آن تیراژ تولید، هندسه قطعه، جنس آلیاژ، دقت و کیفیت سطح موردنیاز و هزینه‌های تولید، هم‌زمان مورد توجه قرار می‌گیرند.

بررسی دقیق‌تر

در ریخته‌گری‌ها با قالب موقت، قالب‌های ماسه‌ای بسیار پرکاربرد است پس خوب است که به صورت دقیق‌تر این موضوع را بررسی کنیم، ما این موضوع را در چند شکل تقسیم‌بندی کرده‌ایم تا مقایسه‌ای دقیق‌تر داشته باشیم.

- **تقسیم‌بندی بر اساس منشأ**

الف) **ماسه طبیعی**

این ماسه‌ها حاوی سیلیس به عنوان جزء دیرگداز و خاک رس به عنوان چسب طبیعی هستند. درصد خاک رس می‌تواند تا حدود 20 درصد متغیر باشد.

مزایا:	**محدودیت**:
در دسترس و ارزان	دیرگدازی پایین‌تر
مناسب برای کارگاه‌های کوچک و متوسط	مناسب برای فلزات با دمای بارریزی پایین مانند آلومینیوم و برنز

ب) **ماسه مصنوعی**

از خردایش سنگ‌های سیلیسی، زیرکنی، کرومیتی یا اولیوینی به دست می‌آید و چسب به صورت کنترل‌شده به آن افزوده می‌شود.



مزایا:

دیرگدازی بالاتر

کنترل بهتر خواص مکانیکی و فیزیکی

قابلیت بازسازی و استفاده مجدد

- این نوع ماسه در تولید قطعات بزرگ و آلیاژهای با نقطه ذوب بالا کاربرد گسترده دارد.

2- **تقسیم بندی بر اساس شکل ذرات**



- ماسه گرد: نفوذپذیری و کیفیت سطح بهتر
- ماسه شبه‌گرد: ترکیبی از خواص گرد و گوشه‌دار
- ماسه گوشه‌دار: استحکام بالا ولی نفوذپذیری کمتر
  - شکل ذرات تأثیر مستقیم بر استحکام قالب و خروج گازها دارد.



ماسه‌های ویژه مورد استفاده در ریخته‌گری

1 - ماسه سیلیسی (SiO_2)

پرکاربردترین ماسه ریخته‌گری با قیمت پایین.

در دمای 573 درجه سانتی‌گراد دچار تغییر فاز شده و ممکن است منجر به ترک قالب شود.

2- ماسه زیرکنی ($ZrO_2 \cdot SiO_2$)

نقطه ذوب حدود 2400 درجه سانتی‌گراد

انتقال حرارت بالا

بهبود خواص مکانیکی قطعه

به دلیل قیمت بالا، معمولاً در لایه‌های سطحی قالب استفاده می‌شود.



3- ماسه کرومیتی ($FeCr_2O_4$)

پایداری حرارتی بالا

مناسب برای ماهیچه‌های در معرض دمای زیاد

امکان ایجاد عیوب گازی در برخی شرایط



4- ماسه اولیوینی

کیفیت متوسط بین سیلیسی و زیرکنی

انبساط حرارتی کمتر نسبت به سیلیس



۵- ماسه شاموتی ($Al_2O_3 \cdot SiO_2$)

دیرگدازی بالا، مناسب برای ریخته‌گری فولاد.

ویژگی‌های مطلوب ماسه قالب‌گیری

ماسه مورد استفاده باید چهار ویژگی اساسی داشته باشد:

- نسوز بودن: تحمل دمای مذاب
- چسبندگی و انسجام: حفظ شکل قالب
- نفوذپذیری: خروج گازهای تولیدی
- قابلیت تخریب: تسهیل انقباض و جداسازی قطعه



نقش چسب، خاک و افزودنی‌ها



چسب

برای اتصال ذرات ماسه استفاده می‌شود و باید:

حداقل تولید گاز داشته باشد

دیرگدازی مناسب داشته باشد

قابلیت استفاده مجدد فراهم کند.

خاک (رس)

در ماسه طبیعی به صورت ذاتی وجود دارد و با افزودن آب خاصیت شکل‌پذیری ایجاد می‌کند.

افزودنی‌ها

برای بهبود خواص قالب به مخلوط افزوده می‌شوند و می‌توانند بر استحکام، سطح نهایی و مقاومت حرارتی تأثیر بگذارند.

احیا و بازسازی ماسه

در اثر تماس با مذاب، ماسه ممکن است دچار سوختگی و از دست دادن خاصیت چسبندگی شود. در این حالت، خاک موجود «خاک مرده» نامیده می‌شود و نیاز به عملیات احیا دارد.

روش‌های احیا:

1- روش خشک

جداسازی ذرات ریز از طریق دمش هوا و سایش مکانیکی.



2- روش تر

تشکیل دوغاب ماسه و جداسازی ناخالصی‌ها با سیستم شستشو.

کیفیت ماسه احیا شده نزدیک به ماسه نو است.



3- روش حرارتی

حرارت‌دهی در محدوده 650 تا 800 درجه سانتی‌گراد.

مؤثرترین روش برای حذف چسب‌های آلی (به ویژه در قالب‌های پوسته‌ای).



تحلیل اقتصادی و صنعتی

احیای ماسه موجب:

1. کاهش هزینه مواد اولیه
2. کنترل دقیق دانه‌بندی
3. حفظ کیفیت سطح قطعه
4. کاهش ضایعات محیط‌زیستی

در واحدهای صنعتی بزرگ، استفاده از سیستم‌های احیای حرارتی یا تر، نقش مهمی در بهره‌وری اقتصادی دارد.

نتیجه گیری



ماسه‌های ریخته‌گری عنصر کلیدی در کیفیت قطعات ریختگی محسوب می‌شوند. انتخاب نوع ماسه بر اساس دمای بارریزی، جنس فلز، ابعاد قطعه و شرایط اقتصادی صورت می‌گیرد. ماسه‌های مصنوعی و ویژه مانند زیرکنی و کرومیتی در کاربردهای دمای بالا عملکرد برتری دارند، در حالی که ماسه سیلیسی به دلیل قیمت پایین، همچنان پرکاربردترین گزینه است.

علاوه بر انتخاب صحیح ماسه، استفاده از سیستم‌های احیا و بازسازی نقش اساسی در کاهش هزینه و افزایش پایداری تولید دارد. مدیریت علمی ترکیب ماسه، چسب و افزودنی‌ها می‌تواند کیفیت قطعه نهایی را به طور قابل توجهی بهبود بخشد.

در مسیر صنعت

گزارش بازدیدهای علمی و صنعتی



فصلنامه انجمن علمی - دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی

از صنعت تا مهارت

تور علمی چهارگانه، سفر به دنیای دگرگونی مواد

گزارش بازدید علمی–صنعتی انجمن علمی دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی

◇ مقدمه

بازدیدهای علمی-صنعتی یکی از ارکان اصلی آموزش مهندسی در کلیه رشته‌های فنی و مهندسی به شمار می‌آیند. این بازدیدها فرصتی مغتنم برای دانشجویان فراهم می‌آورند تا دانش نظری کسب شده در محیط دانشگاه را با واقعیت‌های محیط صنعت مرتبط سازند، فرآیندهای عملی تولید و ساخت را از نزدیک مشاهده کنند و با چالش‌ها و نوآوری‌های موجود در صنایع آشنا شوند. این امر به ویژه در رشته مهندسی مواد و متالورژی که ماهیت کاربردی و فرآیندی قوی دارد، از اهمیت مضاعفی برخوردار است.

گزارش حاضر، شامل شرح مفصلی از بازدید علمی-صنعتی انجام شده توسط دانشجویان گروه مهندسی مواد و متالورژی از چهار واحد صنعتی فعال در حوزه متالورژی و ریخته‌گری است. هدف اصلی این بازدید، درک عمیق تر فرآیندهای متالورژیکی، ریخته‌گری، آهنگری و تولید قطعات فلزی در مقیاس صنعتی بوده است.

معرفی و شرح شرکت‌های بازدید شده

در این بازدید، چهار شرکت تخصصی در حوزه‌های مرتبط با مواد و متالورژی مورد بازدید قرار گرفتند که هر یک نقش مهمی در زنجیره تأمین قطعات فلزی ایفا می‌کنند.

- **شرکت اول: ریخته گری سهند آذرین**

شرکت ریخته گری سهند آذرین یکی از واحدهای فعال در زمینه تولید قطعات چدنی و فولادی است. تمرکز اصلی این کارخانه بر روی فرآیندهای ریخته‌گری دقیق و سنتی برای تولید قطعات مورد نیاز صنایع ماشین‌سازی و خودروسازی می‌باشد.

فرآیندهای کلیدی مشاهده شده:

آماده سازی مواد اولیه و شارژ کوره: فرآیند دقیق توزین و شارژ مواد اولیه شامل آهن قراضه، چدن آلیاژی و فروآلیاژها برای رسیدن به ترکیب شیمیایی مورد نظر. کنترل دقیق عناصر آلیاژی مانند سیلیسیم، منگنز و کربن حائز اهمیت ویژه است.

ذوب و پالایش: استفاده از کوره‌های القایی (**Induction Furnaces**) برای ذوب سریع و یکنواخت مواد. در این مرحله، فرآیندهای اصلاح مذاب مانند سرباره‌گیری و تزریق گازهای خنثی جهت زدودن ناخالصی‌ها و گازها مورد مشاهده قرار گرفت.

تست‌های متالورژیکی در حین فرآیند: نمونه گیری مداوم از مذاب و انجام تست‌های اسپکترومتری برای تأیید ترکیب شیمیایی قبل از ریختن.

فرآیند ریخته‌گری: مشاهده روش‌های مختلف ریخته‌گری، از جمله ریخته‌گری در قالب‌های ماسه‌ای (**Sand Casting**) و نیز ریخته‌گری دقیق (**Investment Casting**) برای تولید قطعات با تلرانس ابعادی بسیار پایین.

عملیات حرارتی پس از ریخته‌گری: بخش مهمی از فعالیت این شرکت به عملیات حرارتی اختصاص داشت. مشاهده کوره سه‌تایی برای انجام فرآیندهای نرمالایز کردن، آنیل کردن و سخت‌کاری که به منظور بهبود خواص مکانیکی و ریزساختار قطعات انجام می‌شد.



- **شرکت دوم: توان فولاد نگین غرب**

این شرکت بر تولید مقاطع فولادی سنگین و انجام فرآیندهای آهنگری گرم و عملیات حرارتی تأکید دارد. توان فولاد نگین غرب نقش مهمی در تأمین مواد اولیه برای صنایع سنگین، نفت و گاز ایفا میکند.

فرآیندهای کلیدی مشاهده شده:

آهنگری (**Forging**): مشاهده فرآیند آماده سازی بیلت‌ها و گرمایش آن‌ها تا دمای آستنیته شدن در کوره‌های گازی. سپس فرآیند شکل‌دهی با استفاده از پرس‌های هیدرولیک سنگین (**Heavy Hydraulic Presses**). دانشجویان نحوه اعمال نیروهای فشاری بالا برای تغییر شکل پلاستیک و بهبود خواص دانه‌بندی را مشاهده کردند.

کنترل فرآیند آهنگری: اهمیت کنترل سرعت سرد شدن پس از آهنگری برای جلوگیری از تشکیل ساختارهای ترد مانند پرلیت خشن یا فریت درشت.

عملیات حرارتی پیشرفته: بازدید از کوره کوئنچینگ و تمپرینگ (**Quenching and Tempering**) برای تولید فولادهای با استحکام بالا (**High Strength Steels**). تمرکز بر اهمیت محیط کوئنچ (آب، روغن یا پلیمر) و تنظیم دمای تمپرینگ برای رسیدن به سختی و چقرمگی مورد نیاز.

تست‌های غیرمخرب (**NDT**): آشنایی با روش‌های بازرسی مانند تست ذرات مغناطیسی (**MT**) و تست مایع نافذ (**PT**) برای اطمینان از عدم وجود ترک‌ها و ناپیوستگی‌های سطحی در قطعات تولیدی.



- **شرکت سوم: فولاد مهر سهند**

فولاد مهر سهند در حوزه تولید شمش‌های آلیاژی خاص و فولادهای ابزار فعالیت می‌کند. این واحد بیشتر بر فرآیندهای پالایش ثانویه و تولید فولادهای با خلوص بالا تمرکز دارد.

فرآیندهای کلیدی مشاهده شده:

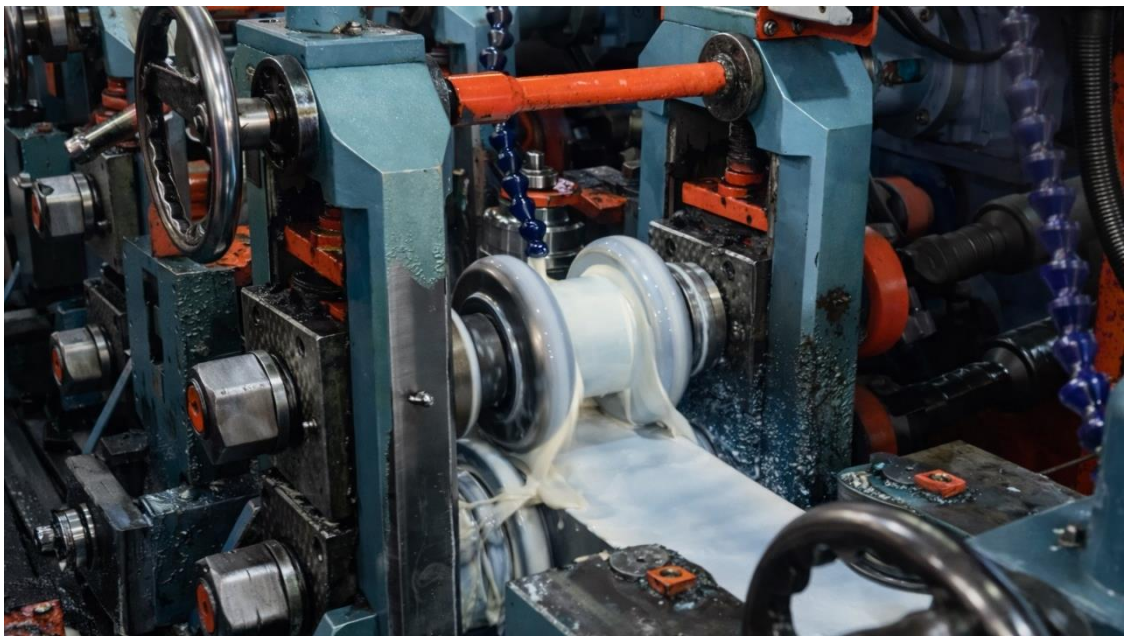
پالایش ثانویه (**Secondary Metallurgy**): بازدید از واحد تصفیه مذاب با استفاده از کوره‌های پاتیل متالورژی (**Ladle Furnace - LF**) و دستگاه تزریق خلاء (**Vacuum Degassing - VD**). این فرآیندها برای کاهش محتوای گازهای محلول (هیدروژن و نیتروژن) و حذف گوگرد و اکسیژن حیاتی هستند.

واکنش گوگردزدایی در پالایش ثانویه

$$3S + 2[Al] \rightarrow Al_2S_3$$

ریخته‌گری مداوم (Continuous Casting): مشاهده عملکرد دستگاه ریخته‌گری مداوم برای تولید شمش‌ها. تأکید بر نقش خنک‌کاری اولیه در ناحیه قالب مسی (Copper mold) و اهمیت تنظیم پارامترهای تاندیش و جریان مذاب برای جلوگیری از انجماد غیریکنواخت.

تولید فولادهای ابزار: آشنایی با فرآیندهای دقیق افزودن عناصر آلیاژی مانند تنگستن، مولیبدن و وانادیم برای تولید فولادهای تندبر (HSS) و بررسی ریزساختارهای حاصل از این آلیاژسازی.



- **شرکت چهارم: نگین گام پارس**

این شرکت بیشتر بر تولید قطعات با دقت بالا از طریق فرآیندهای ریخته‌گری دقیق (دایکاستینگ یا **Investment Casting**) متمرکز است و به صنایع حساس مانند تجهیزات پزشکی و هوافضا خدمات ارائه می‌دهد.

فرآیندهای کلیدی مشاهده شده:

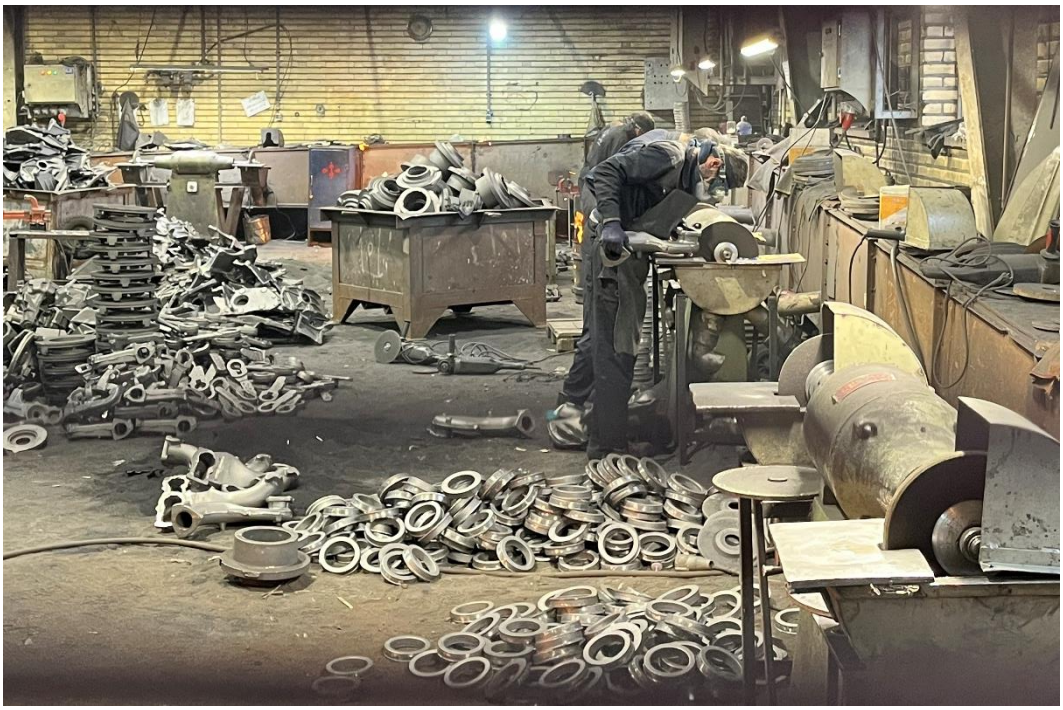
ساخت قالب سرامیکی (**Ceramic Shell Building**): مشاهده فرآیند ساخت قالب دقیق با استفاده از الگوی مومی (**Wax Pattern**). این فرآیند شامل آغشته‌سازی مکرر الگو در سوسپانسیون سرامیکی و پاشش مواد نسوز (**Refractory Sand**) است.

جداسازی موم (**Dewaxing**): مشاهده فرآیند خروج موم از داخل قالب سرامیکی توسط

اتوکالو بخار یا گرمایش تدریجی، که باید بدون ایجاد تنش و ترک در دیواره سرامیکی انجام شود.

ذوب و ریخته‌گری در خلأ: استفاده از کوره‌های القایی تحت خلأ برای ذوب آلیاژهای خاص (مانند سوپرآلیاژهای پایه نیکل) و ریخته‌گری مستقیم در قالب‌های سرامیکی برای دستیابی به قطعاتی با تخلخل بسیار کم.

عملیات نهایی: فرآیندهای برشکاری (**Cut-off**)، سنگ‌زنی و عملیات حرارتی نهایی برای بهینه سازی خواص سطحی و حجمی قطعات.



اهداف آموزشی بازدید

بازدید علمی-صنعتی از چهار واحد فوق، اهداف آموزشی زیر را در پی داشت:

مشاهده کاربرد فرآیندهای تبدیل حالت ماده: مشاهده مستقیم تبدیل فازهای مختلف (جامد به مایع و بالعکس) در کوره‌ها و فرآیندهای انجماد در ریخته‌گری و آهنگری.

آشنایی با کنترل کیفی مواد: درک اهمیت تست‌های شیمیایی (اسپکترومتری)، متالوگرافی و تست‌های غیرمخرب در خط تولید جهت تضمین کیفیت محصول نهایی.

ارتباط علم با صنعت: درک چگونگی انتخاب فرآیند تولید (ریخته‌گری، آهنگری، ریخته‌گری دقیق) بر اساس خواص مورد نیاز قطعه نهایی (مکانیکی، شیمیایی و تلرانس‌های ابعادی).

تکنولوژی های نوین: آشنایی با روش های پیشرفته پالایش مذاب مانند تزریق خلاء (VD) و نقش آن در تولید فولادهای با خلوص بالا که در صنعت امروز ضروری است.

مسائل ایمنی و محیط زیست: مشاهده شیوه‌های کنترل آلودگی‌های ناشی از کوره‌ها و فرآیندهای

ریخته‌گری و رعایت استانداردهای ایمنی کارگاهی.

دستاورد ها

این بازدید علمی دستاورد های ملموسی برای دانشجویان به همراه داشت:

تکمیل دانش ریخته گری: دانشجویان توانستند تفاوت های بنیادین بین ریخته گری ماسه ای، ریخته گری دقیق و ریخته گری تحت فشار را از لحاظ اقتصادی و کیفی درک کنند.

فهم عملی عملیات حرارتی: مشاهده مستقیم تأثیر عملیات حرارتی بر ریزساختار فولادها، به ویژه در شرکت توان فولاد نگین غرب، فهم نظری مربوط به دیاگرام های تبدیل دما-زمان (TTT/CCT) را تقویت کرد.

شناخت زنجیره تأمین: درک جایگاه هر کارخانه در زنجیره ارزش متالورژی؛ از تأمین مواد اولیه آلیاژی (فولاد مهر سهند) تا تولید قطعات نهایی آماده مصرف (ریخته گری سهند آذرین).

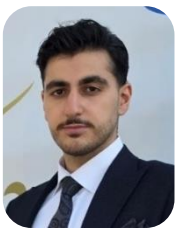
افزایش مهارت های مشاهده ای: توانایی شناسایی تجهیزات تخصصی مانند تاندیش ها، کوره های القایی و پرس های آهنگری بدون نیاز به شرح فنی قبلی.



جمع بندی نهایی

بازدید از ریخته گری سهند آذرین، توان فولاد نگین غرب، فولاد مهر سهند و نگین گام پارس یک تجربه آموزشی بسیار غنی بود که پلی مستحکم میان تئوری های مهندسی مواد و واقعیت های فرآیند های تولید صنعتی ایجاد نمود. مشاهده تنوع فرآیندها، از تولید قطعات حجیم با آهنگری تا قطعات پیچیده با ریخته گری دقیق، نشان دهنده گستردگی و پیچیدگی رشته متالورژی است.

این بازدید تأکید مجددی بر اهمیت کنترل دقیق فرآیندها، خلوص مواد و اهمیت عملیات حرارتی در دستیابی به خواص مکانیکی مورد انتظار داشت. دانشجویان این فرصت را یافتند تا با چالش های روزمره مهندسان مواد در محیط های تولیدی روبرو شوند و نقش خود را در آینده صنعت مواد کشور بهتر ترسیم نمایند.



مانی قاسمی

دانشجوی کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه تبریز

روایت دانشگاه

گفت‌وگو و دیدگاه دانشجویان



فصلنامه انجمن علمی - دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی



دکتر میر سامان صفوی

پژوهشگر حوزه مهندسی سطح و پوشش‌های پیشرفته

در این شماره از نشریه انجمن علمی مهندسی مواد، فرصتی فراهم شد تا با دکتر میر سامان صفوی، دانش‌آموخته دکتری تخصصی مهندسی مواد و پژوهشگر حوزه مهندسی و اصلاح سطح، درباره مسیر علمی، فعالیت‌های پژوهشی، چالش‌های پیش‌روی دانشجویان و آینده رشته مهندسی مواد به گفت‌وگو بنشینیم. آنچه در ادامه می‌خوانید حاصل این گفت‌وگو است.

۱: لطفاً در ابتدا یک معرفی از خودتان، زمینه‌های تخصصی و مسیر علمی‌تان ارائه بفرمایید.

عرض سلام و احترام خدمت اعضای انجمن علمی مهندسی مواد دانشگاه تبریز و مخاطبان نشریه. از دعوت شما برای انجام این مصاحبه صمیمانه سپاسگزارم.

اینجانب میر سامان صفوی، دانش‌آموخته دکتری تخصصی مهندسی مواد از دانشگاه صنعتی سهند هستم. مقطع کارشناسی پیوسته (گرایش متالورژی صنعتی) و کارشناسی‌ارشد (گرایش شناسایی و انتخاب مواد مهندسی) را در دانشگاه تبریز گذرانده‌ام؛ همچنین در دوره دکتری، فرصت مطالعاتی شش‌ماهه‌ای را با حمایت وزارت علوم، تحقیقات و فناوری در دانشگاه پاویا ایتالیا سپری کرده‌ام. زمینه تخصصی بنده مهندسی و اصلاح سطح مواد فلزی با استفاده از پوشش‌های کامپوزیتی حاصل از روش‌های رسوب‌دهی الکتریکی است. تمرکز پژوهش‌های کارشناسی‌ارشد بیشتر بر کاربردهای صنعتی و پژوهش‌های دوره دکتری بر کاربردهای زیست‌پزشکی معطوف بوده است.

۲: اگر بخواهید رشته مهندسی مواد را در چند جمله برای دانشجویان جدید توصیف کنید، مهم‌ترین جذابیت آن از نظر شما چیست؟

مهندسی مواد علمی است که به شناخت، طراحی، ساخت و بهبود خواص انواع مواد شامل فلزات، سرامیک‌ها، پلیمرها و کامپوزیت‌ها می‌پردازد؛ اما اگر بخواهم ساده‌تر بیان کنم، مهندسی مواد در ساخت و عملکرد تقریباً تمام وسایلی که در زندگی روزمره با آن‌ها سروکار داریم نقش دارد؛ از صنایع خودروسازی و تجهیزات صنعتی گرفته تا ایمپلنت‌های پزشکی و صنایع پالایشگاهی. از دیدگاه شخصی، مهم‌ترین جذابیت این رشته وسعت بی‌نظیر کاربردهای آن و نقش بنیادین آن در پیشرفت تمدن‌هاست. بسیاری از تحولات صنعتی جهان مرهون پیشرفت مهندسی مواد بوده‌اند و این جایگاه «مادر بودن» یکی از جذابیت‌های اصلی آن است.

۳: مهم‌ترین فعالیت‌های پژوهشی و علمی شما تاکنون در چه حوزه‌هایی بوده است؟

تمرکز اصلی پژوهش‌های بنده بر مهندسی سطح مواد مهندسی بوده است. بخشی از این پژوهش‌ها به بهبود خواص سطحی مواد فلزی مورداستفاده در صنایع نیازمند مقاومت به خوردگی و سایش بالا اختصاص داشته است؛ برای مثال توسعه پوشش‌های کامپوزیتی زمینه نیکل یا کبالت بر روی فولاد و مس به روش رسوب‌دهی الکتریکی. بخش دیگر پژوهش‌ها در حوزه زیست‌پزشکی انجام شده است؛ از جمله ایجاد پوشش‌های کامپوزیتی هیدروکسی‌آپاتیتی بر روی آلیاژهای نایتینول و تیتانیوم گرید ۵ با استفاده از روش‌های رسوب‌دهی الکتریکی، اکسیداسیون پلاسمای الکترولیتی و کندوپاش مگنترونی؛ علاوه بر این، در پروژه‌هایی مرتبط با بررسی مکانیزم‌های شکست مواد در صنایع پالایشگاهی و نیز حوزه ریخته‌گری آلومینیوم به‌عنوان همکار پژوهشی فعالیت داشته‌ام.

۴: آیا در دوران تحصیل نقطه عطفی وجود داشته که مسیر علمی شما را تحت‌تأثیر قرار دهد؟

بله، بدون تردید. آشنایی نزدیک با اساتید برجسته داخلی و بین‌المللی و مشاهده نظم کاری، اخلاق‌پژوهشی و شیوه تعامل آنان با دانشجویان تأثیر عمیقی بر نگرش علمی بنده داشته است. این تجربیات باعث شد اهمیت تعهد حرفه‌ای، دقت پژوهشی و برنامه‌ریزی بلندمدت را بیش‌ازپیش درک کنم.

۵: از نگاه شما دانشجویان امروز مهندسی مواد با چه چالش‌هایی روبه‌رو هستند؟

یکی از چالش های مهم ، محدودیت دسترسی به تجهیزات پیشرفته ساخت و مشخصه‌یابی است. توسعه زیرساخت‌های آزمایشگاهی می‌تواند کیفیت و کمیت پژوهش‌های نوآورانه را به طور چشمگیری افزایش دهد .چالش دیگر، شرایط اقتصادی است که بر انگیزه و چشم‌انداز شغلی دانشجویان تأثیرگذار است. حل این مسائل نیازمند برنامه‌ریزی کلان، سرمایه‌گذاری هدفمند و تعامل مؤثر میان دانشگاه و صنعت است.

۶: چه مهارت‌هایی را برای موفقیت دانشجویان ضروری می‌دانید؟

یادگیری مستمر مهم‌ترین اصل است. مهارت‌هایی مانند آشنایی با ابزارهای هوش مصنوعی برنامه‌نویسی، به‌ویژه Python نرم‌افزارهای تحلیل داده و نقشه‌کشی صنعتی، مقاله‌نویسی علمی، تقویت زبان انگلیسی، مهارت کار تیمی و مدیریت زمان برای دانشجویانی که قصد ورود مستقیم به صنعت دارند؛ به‌علاوه مهارت‌هایی مانند آزمون‌های غیرمخرب، جوشکاری و دوره‌های تخصصی صنعتی نیز بسیار ارزشمند است.

۷: وضعیت فعلی و آینده مهندسی مواد در کشور را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

اگرچه در سال‌های اخیر پیشرفت‌هایی در حوزه‌هایی مانند نانومواد، بیومواد و کاربرد هوش مصنوعی در طراحی مواد حاصل شده است، اما هنوز ظرفیت‌های این رشته به‌طور کامل در صنایع کشور به‌کار گرفته نشده‌اند. با درک صحیح جایگاه مهندسی مواد و تقویت ارتباط صنعت و دانشگاه، آینده روشنی برای این رشته متصور هستم.

۸: اگر به دوران دانشجویی بازگردید، چه کاری را متفاوت انجام می‌دهید؟

تنها تغییری که احتمالاً اعمال می‌کردم، تلاش و برنامه‌ریزی هدفمندتر در مقطع کارشناسی بود. این دوره فرصتی طلایی برای مهارت‌آموزی است که گاهی دانشجویان اهمیت آن را به طور کامل درک نمی‌کنند. داشتن نقشه راه مشخص و ترسیم آینده حرفه‌ای از همان سال‌های ابتدایی تحصیل می‌تواند بسیار راهگشا باشد.

۹: توصیه پایانی شما به دانشجویان و انجمن‌های علمی چیست؟

پیشنهاد می‌کنم انجمن‌های علمی با طراحی محتوای گرافیکی جذاب و برگزاری کارگاه‌های مهارتی کوتاه‌مدت، به معرفی گرایش‌ها و کاربردهای مهندسی مواد بپردازند. تقویت ارتباط با صنعت و دعوت از فارغ‌التحصیلان موفق نیز می‌تواند الهام‌بخش دانشجویان باشد.

در پایان، برای تمام دانشجویان مهندسی مواد آرزوی موفقیت دارم و امیدوارم در مسیر پیشرفت علمی و حرفه‌ای خود همواره کوشا و امیدوار باشند.



سارینا اشرفی

دانشجوی کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه تبریز

آنچه دانشجویان می‌گویند

روایتی از نقاط قوت و چالش‌های محیط دانشگاهی

در راستای ارتقای سطح علمی و بررسی نقاط قوت و ضعف موجود، نظرسنجی‌ای میان ۱۰۰ نفر از دانشجویان رشته مهندسی مواد و متالورژی انجام شد. هدف از این بررسی، شنیدن بی‌واسطه صدای دانشجویان درباره دانشگاه، دانشکده، نشریه علمی و برنامه‌های بازدید صنعتی بود.

۱. مشکلات سامانه آموزشی

نخستین مسئله پرتکرار در پاسخ‌ها، مشکلات سایت رسمی دانشگاه تبریز (سما) بود .در عصر تحول دیجیتال، وب‌سایت دانشگاه باید پلی سریع، کارآمد و شفاف میان دانشجو و خدمات آموزشی باشد .با این حال، کندی سامانه، اختلال در زمان انتخاب واحد یا مشاهده نمرات و دشواری دسترسی به اطلاعیه‌های به‌روز از چالش‌هایی است که روند امور آموزشی را مختل می‌کند و موجب نارضایتی دانشجویان شده است.

۲. شرایط فیزیکی دانشکده

موضوع دیگر، شرایط فیزیکی برخی ساختمان‌های دانشکده و نبود آسانسور در آن‌هاست .شاید در نگاه اول مسئله‌ای ساده به نظر برسد، اما برای دانشجویانی که کلاس‌های متوالی در طبقات مختلف دارند و به‌ویژه برای دانشجویان دارای شرایط جسمی خاص، این موضوع به چالشی روزمره تبدیل شده است.

۳. شفافیت در ارزیابی و اعلام نمرات

از دغدغه‌های مهم مطرح‌شده، مسئله شفافیت در ارزیابی و اعلام نمرات است. بخشی از دانشجویان معتقدند نمره نهایی همواره بازتاب دقیق عملکرد واقعی آن‌ها نیست یا امکان مشاهده و بررسی دقیق تصحیح برگه‌ها به‌سادگی فراهم نمی‌شود.





اعتماد، ستون اصلی رابطه استاد و دانشجوست؛ این اعتماد زمانی تقویت می‌شود که فرآیند ارزیابی شفاف، قابل‌پیگیری و مبتنی بر معیارهای مشخص باشد. فراهم‌کردن امکان مشاهده پاسخ‌نامه‌ها، ارائه بازخورد دقیق و تبیین معیارهای نمره‌دهی می‌تواند بسیاری از ابهامات را برطرف کرده و احساس عدالت آموزشی را افزایش دهد.

۴. پیشنهادها درباره نشریه علمی

در بخش مربوط به نشریه علمی، دانشجویان علاقه خود را به انتشار مطالب کاربردی‌تر، معرفی فرصت‌های کارآموزی و مصاحبه با فعالان صنعت ابراز کردند. همچنین پیشنهاد شد بخشی ویژه برای معرفی پروژه‌های برتر دانشجویی در نظر گرفته شود.

۵. امکانات آزمایشگاهی

بیش از نیمی از پاسخ‌دهندگان، کمبود امکانات آزمایشگاهی و نیاز به به‌روزرسانی تجهیزات را از چالش‌های اصلی عنوان کردند؛ مسئله‌ای که می‌تواند بر کیفیت آموزش عملی و مهارت‌آموزی دانشجویان تأثیر مستقیم داشته باشد.

۶ .رضایت از عملکرد انجمن علمی

در کنار این انتقادات، نکته‌ای بسیار مهم و قابل‌توجه نیز مطرح شد: رضایت کامل دانشجویان از عملکرد انجمن علمی. شرکت‌کنندگان در نظرسنجی، از تلاش‌های مستمر انجمن در برگزاری دوره‌های آموزشی، کارگاه‌ها، برنامه‌های علمی و به‌ویژه بازدیدهای صنعتی منظم و متعدد قدردانی کردند.







پارسا پورناجی ایران

مهدی احمدیان

دانشجوی کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه تبریز

رادار فناوری

اخبار و تازه‌های علم مواد



فصلنامه انجمن علمی - دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی

مرزهای نوظهور در دانش و فناوری مواد پیشرفته

آلیاژهای آنتروپی بالا

گسترش مرزهای عملکرد در دماهای بالا پژوهش‌های اخیر در حوزه مهندسی مواد نشان می‌دهد که آلیاژهای آنتروپی بالا (High Entropy Alloys – HEAs) همچنان در کانون توجه محققان قرار دارند. این آلیاژها از ترکیب چند عنصر فلزی با نسبت‌های تقریباً برابر تشکیل می‌شوند و به دلیل آنتروپی اختلاط بالا، تمایل به تشکیل فازهای ساده اما پایدار دارند؛ ویژگی‌ای که آن‌ها را از آلیاژهای متداول متمایز می‌کند.

در تحقیقات جدید، طراحی ریزساختارهای گرادیانی و کنترل دقیق ترکیب شیمیایی موجب شده است تا این آلیاژها بتوانند استحکام خود را در دماهای بالاتر از ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد حفظ کنند. نتایج آزمون‌های خزش و اکسیداسیون نشان می‌دهد برخی از این ترکیبات در شرایط دمایی بالا پایداری قابل‌توجهی دارند و افت خواص مکانیکی آن‌ها محدود است. یکی از نکات قابل‌توجه در این مطالعات، امکان ایجاد هم‌زمان نواحی سخت و نواحی چقرمه در یک قطعه واحد است؛ این موضوع باعث می‌شود مقاومت به شکست در کنار استحکام بالا حفظ شود، مسئله‌ای که برای کاربردهای حساس مانند قطعات توربین، سامانه‌های پیشران و تجهیزات صنعتی دما بالا اهمیت زیادی دارد. برخی گزارش‌ها حتی از رقابت‌پذیری این آلیاژها با سوپرآلیاژهای پایه نیکل در شرایط خاص خبر می‌دهند.

سرامیک‌های فوق‌دماپایدار

در ادامه روند توسعه مواد دیرگداز پیشرفته، نسل تازه‌ای از سرامیک‌های فوق‌دماپایدار معرفی شده‌اند که قابلیت عملکرد در بازه دمایی حدود ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ درجه سانتی‌گراد را دارند. این مواد عمدتاً بر پایه کاربیدها و دی‌بریدهای فلزی طراحی شده‌اند و برای کاربرد در شرایط حرارتی بسیار شدید موردتوجه قرار گرفته‌اند.

بررسی‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که کنترل ریزساختار، کاهش تخلخل و اصلاح مرزدانه‌ها نقش مهمی در افزایش مقاومت به اکسیداسیون و شوک حرارتی دارد؛ همچنین افزودن فازهای تقویت‌کننده نانومتری موجب انحراف مسیر رشد ترک و بهبود چقرمگی شکست شده است. در آزمون‌های چرخه حرارتی، این سرامیک‌ها نسبت به نمونه‌های متداول افت استحکام کمتری نشان داده‌اند؛ باتوجه به پایداری حرارتی بالا و چگالی نسبتاً کمتر در مقایسه با برخی آلیاژهای دما بالا، این مواد می‌توانند در پوشش‌های محافظ حرارتی، قطعات لبه حمله سازه‌های پرسرعت، محفظه‌های احتراق و تجهیزات صنعتی ویژه مورداستفاده قرار گیرند.

هوش مصنوعی در مهندسی مواد

کاهش زمان کشف و بهینه‌سازی ترکیبات کاربرد هوش مصنوعی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین در مهندسی مواد طی سال‌های اخیر رشد چشمگیری داشته است. پژوهشگران با استفاده از مدل‌های داده‌محور قادرند خواص مکانیکی، حرارتی و حتی ریزساختاری مواد را پیش‌بینی کنند و ترکیب‌های بهینه را پیش از انجام آزمایش‌های پرهزینه شناسایی نمایند. در این رویکرد، داده‌های تجربی و نتایج شبیه‌سازی‌های عددی در اختیار الگوریتم‌ها قرار می‌گیرد تا ارتباط میان ترکیب شیمیایی، فرایند ساخت و خواص نهایی ماده استخراج شود. این روش به کاهش قابل‌توجه زمان توسعه مواد جدید کمک کرده و وابستگی به آزمون و خطای گسترده را کاهش می‌دهد؛ علاوه بر این، توسعه «آزمایشگاه‌های خودران» که در آن‌ها انتخاب ترکیب، سنتز نمونه و ارزیابی نتایج به‌صورت نیمه‌خودکار انجام می‌شود، روند تحقیق و توسعه را تسریع کرده است. این فناوری‌ها به‌ویژه در حوزه‌هایی مانند مواد عملکردی پیشرفته، هوافضا و انرژی موردتوجه قرار گرفته‌اند و انتظار می‌رود نقش آن‌ها در سال‌های آینده پررنگ‌تر شود



امیرحسین مرجوعی

دانشجوی کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه تبریز

فراتر از مرزها

مقالات بین‌المللی



فصلنامه انجمن علمی - دانشجویی مهندسی مواد و متالورژی

Effects of Rare-Earth element doping on YAG for laser applications; A Short Review



Mohammad Mani Pakdel[1]

1. M.Sc Student at university of Tabriz, Ceramics engineering

ABSTRACT: Yttrium aluminium garnet (YAG) has attracted much attention owing to its excellent properties and huge technological applications. Its performance is fundamentally engineered through doping with trivalent rare-earth ions (e.g., Nd^{3+}, Yb^{3+}, Er^{3+}). In this review, we summarize the Effects of Rare-Earth element doping on YAG for Solid-State laser applications with significant developments. Finally, we connect these fundamental principles to specific laser applications, concluding with current challenges and future outlooks in the field.

KEYWORDS: Yttrium aluminium garnet, methodology, Optical properties, Solid-State Laser.

1. Introduction

Lasers have a wide range of applications across various fields, including industrial processes, medical treatments, scientific research, communication technologies, military and defense, and consumer electronics. Their utility stems from unique properties such as monochromaticity, directionality, and high intensity, which allow for precise and high-energy applications. Apart from design considerations, the process of fabricating the various parts of a laser requires close collaboration between materials engineers and physicists.

Oxide materials are very interesting and they are being used more and more. They are used as laser materials, in nonlinear optics, acousto optics, for memorizing optical data and magnetic memories, wave guides, etc. At the present time, Yttrium aluminium garnets (YAG) have considerably studied in the field of fundamental science and engineering. YAG is a man-made oxide ceramic that is produced using various techniques. Today, YAGs doped with rare earth elements are used to produce gain mediums.

Rare-earth elements (REEs), specifically the lanthanide series, possess unique electronic configurations with unfilled 4f shells shielded by filled $5s^2$ and $5p^6$ outer shells. This shielding allows their optical transitions to remain sharp even when incorporated into a crystal lattice. Doping involves the substitution of Y^{3+} ions in the YAG lattice with trivalent REE ions (e.g., Nd^{3+}), facilitated by their similar ionic radii. This substitution introduces discrete energy levels within the wide bandgap of YAG, creating the active centers for laser transitions.

The garnet crystal structure, exemplified by yttrium aluminum garnet ($Y_3Al_5O_{15}$, YAG), crystallizes in the cubic system. In this structure, Y^{3+} ions occupy the dodecahedral (eight-fold coordinated) sites, while Al^{3+} ions are distributed between octahedral (six-fold coordinated) and tetrahedral (four-fold coordinated) sites. The oxygen sublattice forms a highly stable three-dimensional framework that accommodates these cations and provides excellent structural rigidity. This unique cation distribution results in high thermal, mechanical, and chemical stability, making YAG an ideal host material for rare-earth doping. When trivalent rare-earth ions substitute for Y^{3+} at the dodecahedral sites, the overall garnet structure is preserved due to similar ionic radii and charge states, enabling efficient incorporation of optically active dopants without significant lattice distortion. This crystal structure is shown in the figure 1.

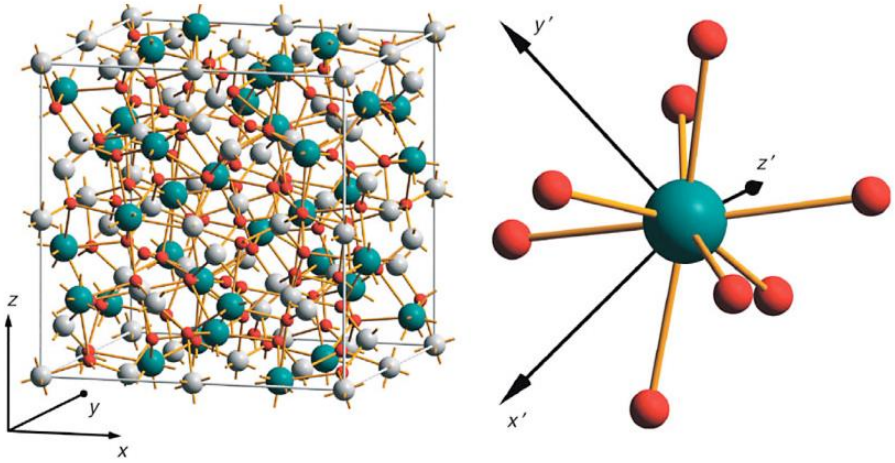


Fig.1. Garnet structure

Rare-earth doping in YAG is primarily achieved through the substitution of trivalent rare-earth ions (RE^{3+}) such as Nd^{3+} for Y^{3+} ions at the dodecahedral sites of the garnet lattice. Owing to the similar valence state and comparable ionic radii, this substitution introduces minimal charge imbalance while locally modifying the crystal field environment. The partially filled 4f electronic shells of rare-earth ions are well shielded by outer 5s and 5p orbitals, resulting in sharp and characteristic optical transitions that are weakly influenced by the host lattice. However, the local crystal field splitting induced by the YAG structure lifts the degeneracy of the 4f energy levels, enabling efficient absorption and emission processes that are essential for laser action. The concentration and spatial distribution of rare-earth dopants strongly affect radiative and non-radiative relaxation pathways, as excessive doping may lead to concentration quenching through cross-relaxation and energy migration among neighboring ions.

The main purpose of this review is to summarize the beneficial and vast knowledge regarding the properties, synthesis and several applications of YAG in an effective way.

2. Structure and Operating Principles of Solid-State Lasers

The term solid-state laser usually refers to a class of lasers that have introduced ions as contaminants into the host dielectric material. a review of the structure of solid-state lasers requires knowledge of physical phenomena such as energy levels, wave theories, radiative transitions, etc. In this review article, we will review these in a very limited manner and our focus will be on engineering the type of material used as the laser crystal and examining their properties.

A typical solid-state laser consists of three essential components: a gain medium, a pumping source, and an optical resonator. In YAG-based lasers, the gain medium is usually a single crystal or transparent ceramic doped with rare-earth ions such as Nd^{3+}, Yb^{3+}, or Er^{3+} (figure 2). The pumping source is commonly a flash lamp or laser diode, chosen to match the absorption bands of the dopant ions. Diode pumping has become increasingly dominant due to its higher efficiency, lower thermal load, and improved wavelength selectivity.

The optical resonator is formed by two or more mirrors placed around the gain medium to provide optical feedback. One mirror is typically highly reflective, while the other is partially transmissive, allowing a fraction of the amplified light to exit as the laser beam. The resonator geometry determines the spatial mode structure, beam divergence, and coherence properties of the output radiation.

Energy storage and release in solid-state lasers depend on the lifetime of the upper laser level. Long lifetimes allow for efficient energy accumulation, enabling Q-switched or pulsed operation, while shorter lifetimes favor continuous-wave (CW) operation. These parameters vary significantly among different rare-earth-doped YAG systems, leading to distinct application domains.

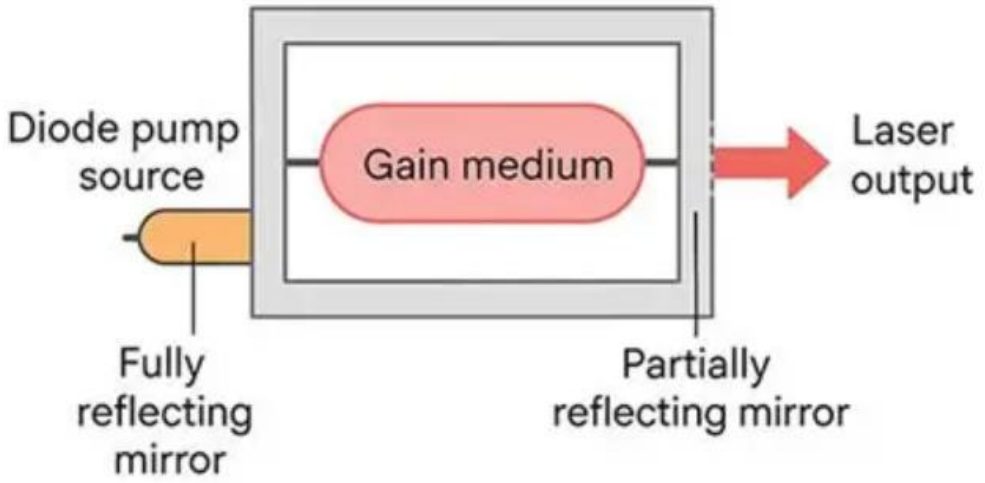


Fig.2. Structure of Solid-State Lasers

3. YAG synthetic and manufacturing process methods and their influence on properties

For the synthesis of YAG, various methods like, co-precipitation method, sol-gel method, etc., have been used. After the synthesis process, the fabrication process of a gain medium is important. These fabrication techniques of YAG are concisely explained below.

3.1 Co-precipitation Method

Co-precipitation method is a simple wet chemical method widely used for the fabrication of various types of oxides because of its good qualities like simplicity, low cost, production of fine particles and good stoichiometric control. Also co-precipitation method also has weaknesses such as sensitivity to pH and precipitation rate, and high probability of agglomeration.

This method involves metal salts with stoichiometric amounts dissolved in a normal solvent. Then desired pH is obtained by the addition of precipitate agent to form single phase, homogeneous inorganic solid. For prepared sample heat treatment is important for the crystallinity and growth of particles. The nucleation kinetics and growth can be adjusted by the control release of cations and anions. The particle size, shape and distribution of nano particles can be affected by the parameters like temperature, pH of desired solution, concentration of reactants and ions, kind of solution etc. For example, Figure 3 shows the process of powder synthesis and manufacturing a YAG ceramic.

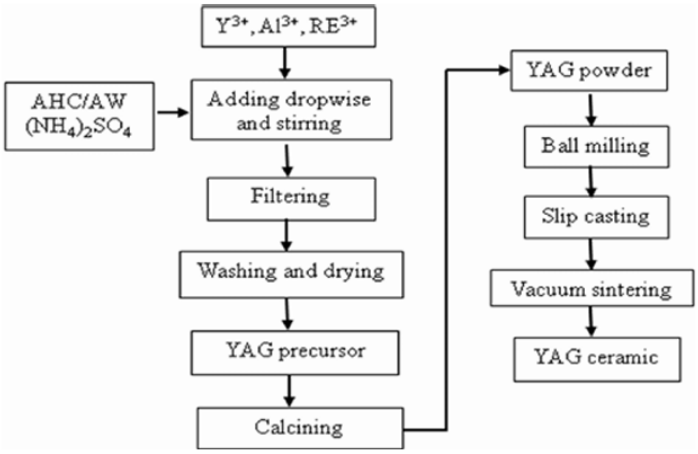


Fig.3. Fabrication process of YAG ceramic by co-precipitation and vacuum sintering method.

Kumar et al., prepared YAG and Yb:YAG nanoparticles by co-precipitation method where metal nitrates as precursors and ammonium bicarbonate (AHC) are used as a precipitating agent. The obtained samples were heated at various temperatures and times. XRD Results are shown in the figure 4. On calcining at 900 °C, crystallization of YAG phase was evoked along with the intermediate YAP (Monoclinic) and Y_3Al_4 (Orthorhombic) phases. These intermediate phases may arise because of the slight change in the stoichiometric metal cation ratio and also due to rapid nucleation enhanced by AHC.

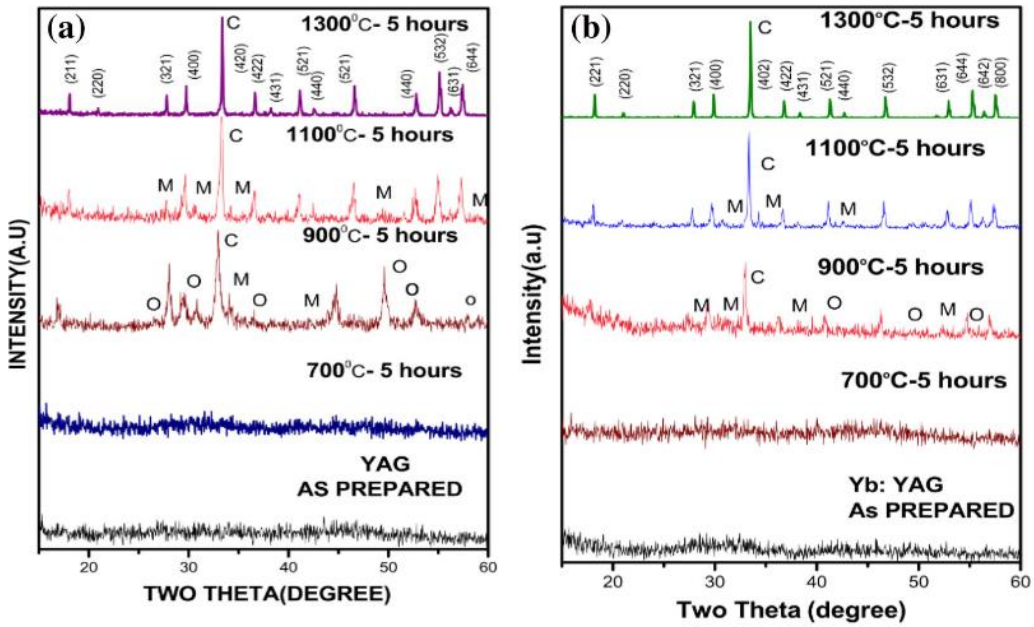


Fig.4. XRD patterns of as prepared YAG and Yb:YAG powders calcined at various temperatures. (O orthorhombic, M monoclinic, C cubic)

3.2 Crystal growth technique

The Czochralski method, also known as the CZ method, is a widely used melt growth technique for producing bulk single crystals (figure 5). Invented by Prof. Jan Czochralski around 1916, it gained popularity and is named after him. The core principle involves pulling a crystal from a melt against gravity, which distinguishes it from other crystal growth methods (figure 6). This method is the most convenient technique for growing single crystals and has been implemented with automated control systems.

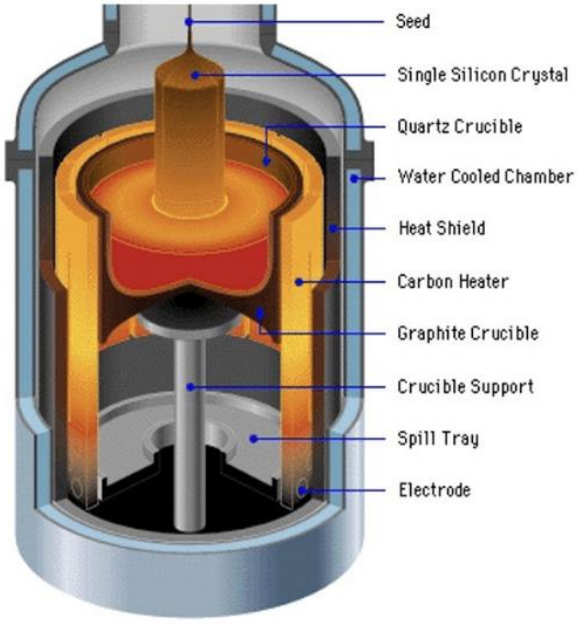
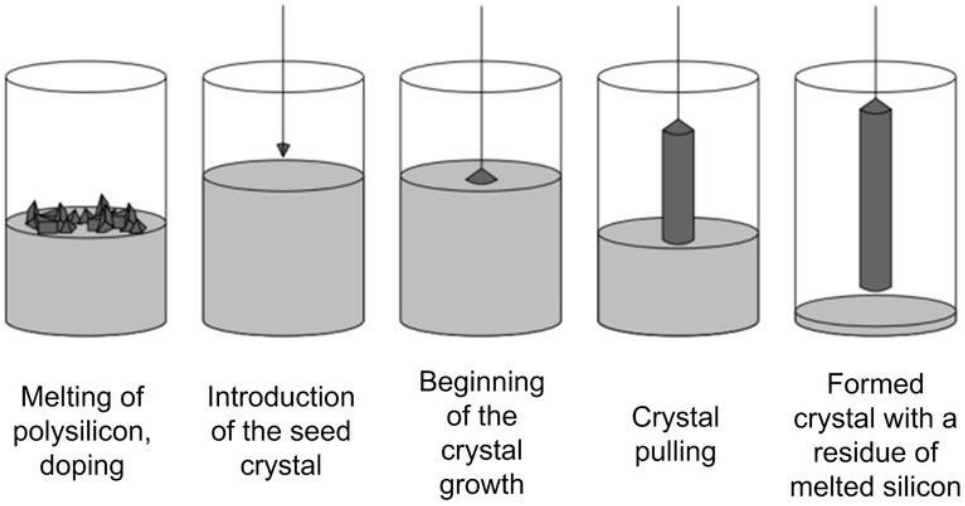


Fig.5. Schematic diagram of a Czochralski crystal growth system.

Fig.6. Schematic diagram of the Czochralski process.



Kostić et al., prepared YAG and Nd: YAG single crystals by Czochralski technique. The critical diameter and the critical rate of rotation were calculated. Suitable polishing and etching solutions were determined. As a result of their experiments, the transparent YAG and pale pink Nd:YAG single crystals were produced (figure 7). Also, the XRD results are shown in Figure 8.

The obtained YAG and Nd:YAG single crystals were without core and of good optical quality. The absence of a core was confirmed by viewing polished crystal slices. Also, it is important to emphasize that the obtained Nd:YAG single crystal has a concentration of 0.8 wt.% Nd^{3+} that is characteristic for laser materials. Figure 9 shows cross section of signal YAG crystals grown with different rotation rates under crossed polarizers.

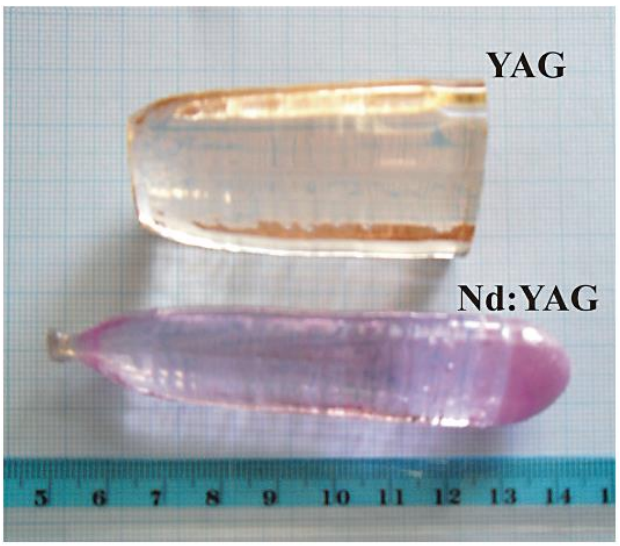


Fig.7. A view of an obtained: (a) YAG and (b) Nd:YAG single crystals plate.

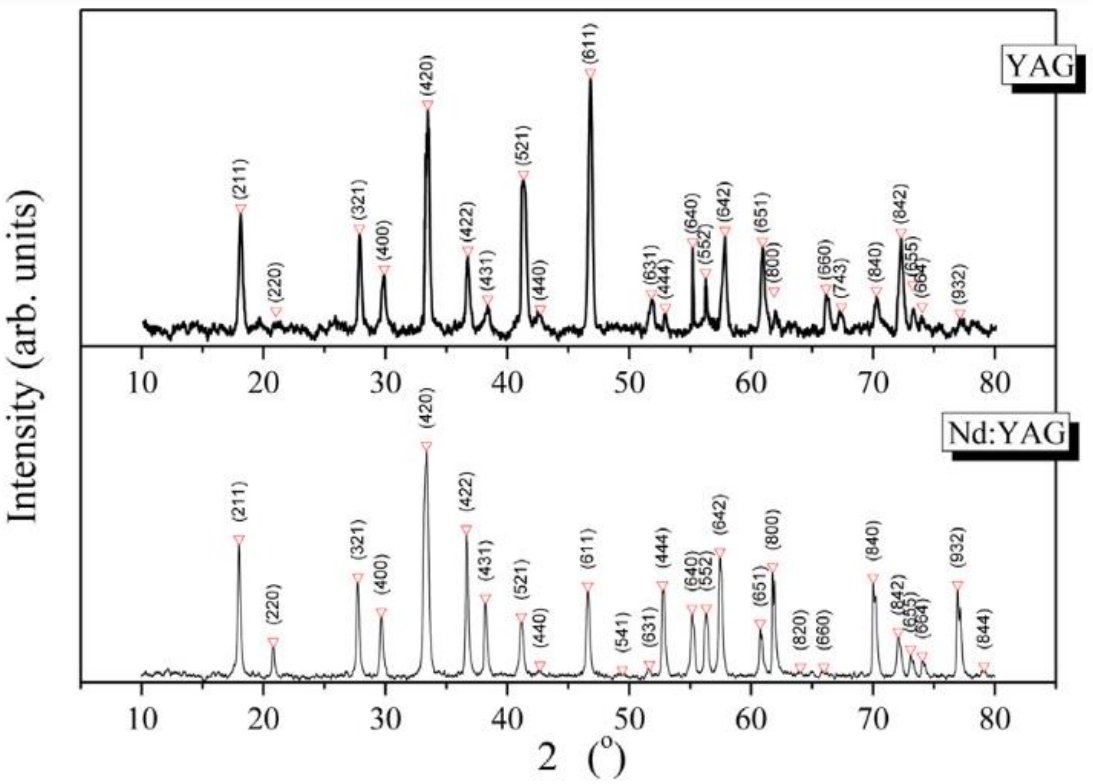


Fig.8. X-ray diffraction patterns of the: (a) YAG and (b) Nd^{3+}:YAG powdered sample.

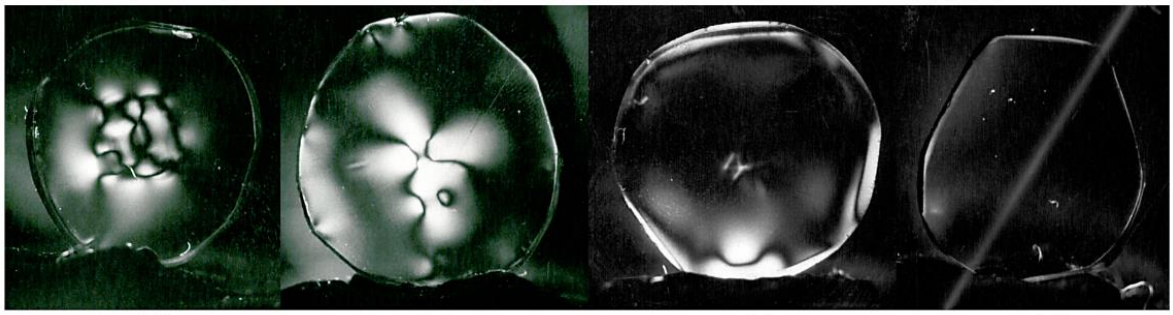


Fig.9. Cross section of signal YAG crystals grown with different rotation rates under crossed polarizers: (a) 7 rpm, (b) 15 rpm, (c) 60 rpm and (d) 100 rpm.

Compared to the chemical method like co-precipitation, Single-crystal growth defines the gain medium during the synthesis stage, while chemical powder routes define the gain medium during the sintering and densification stage. The table 1 discusses in more detail the differences in gain medium produced by these two methods.

Table.1. differences in gain medium produced by different methods

Feature	Czochralski-Grown Single Crystal YAG	Chemically Synthesized Transparent Ceramic YAG
Microstructure	Single crystal (no grain boundaries)	Polycrystalline (controlled grain boundaries)
Grain Boundaries	Absent	Present (minimized through advanced sintering)
Optical Scattering	Extremely low	Very low (slightly higher than single crystal)
Optical Homogeneity	Excellent	Excellent (dependent on densification quality)
Dopant Distribution	May exhibit segregation during crystal growth	Highly uniform at atomic scale (solution-based mixing)
Achievable Dopant Concentration	Limited by segregation coefficient	Higher doping levels achievable
Processing Temperature	Very high (>1900 °C melt growth)	Lower synthesis temperature; high-temperature sintering required
Manufacturing Cost	High (specialized crystal growth equipment)	Lower overall cost; scalable powder processing
Scalability	Limited by crystal size and growth time	Highly scalable for large components
Typical Laser Architectures	Rod, slab	Disk, slab, high-power ceramic systems
Suitability for High-Power Lasers	Good	Excellent (especially for Yb:YAG systems)

4. The effect of rare earth element doping on YAG properties

The type of rare-earth dopant ion strongly determines the main laser transition in YAG-based systems. While the YAG host provides the crystalline framework and ensures thermal and mechanical stability, the electronic energy levels responsible for laser emission originate from the partially filled 4f orbitals of the dopant ions. Different rare-earth elements possess distinct energy level structures, which define the wavelength, emission cross-section, and transition scheme (three-level, four-level, or quasi-three-level) of the laser.

The main laser transition refers to the dominant stimulated emission process occurring between the upper and lower laser levels, which defines the primary output wavelength and gain characteristics of the laser system. Therefore, the choice of dopant directly controls the fundamental lasing transition and the operational characteristics of the laser system. Table 2 shows the effect of the dopant type on the main laser transition.

Table.2. Effect of the dopant type on the main laser transition

Laser	Main transition	Wave length
Nd:YAG	$^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$	1064 nm
Yb:YAG	$^4F_{5/2} \rightarrow {}^2F_{7/2}$	1030 nm
Er:YAG	$^4I_{11/2} \rightarrow {}^4I_{13/2}$	2.94 µm

4.1. Nd:YAG

Nd:YAG (Neodymium-doped Yttrium Aluminum Garnet) is one of the most widely used solid-state laser materials (figure10). The main laser transition occurs at 1064 nm, originating from the metastable $^4F_{3/2}$ energy level of Nd^{3+} ions. This transition behaves as a quasi-four-level system at room temperature, which means that population inversion can be achieved relatively easily (figure11). As a result, Nd:YAG lasers have a low lasing threshold, good efficiency, and stable operation in both continuous-wave (CW) and pulsed modes. The relatively long excited-state lifetime of Nd^{3+} allows effective energy storage, which is particularly useful for Q-switched and high-peak-power pulsed lasers.

In practical applications, Nd:YAG lasers are commonly used in industrial machining processes such as cutting, welding, drilling, and marking due to their high output power and good beam quality. They are also widely used in medical procedures, including ophthalmology and dermatology, where controlled energy delivery is required. Because of their reliability and mature technology, Nd:YAG lasers are often considered the standard reference system among solid-state lasers.

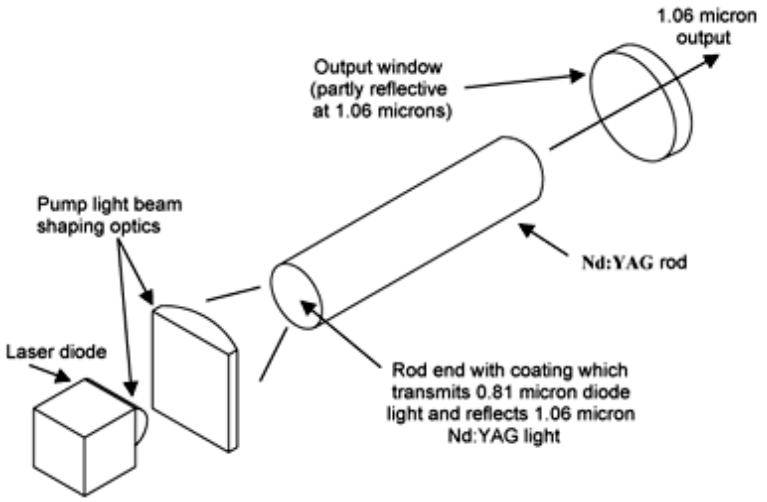


Fig.10. Diode (end) pumped Nd:YAG laser schematic.

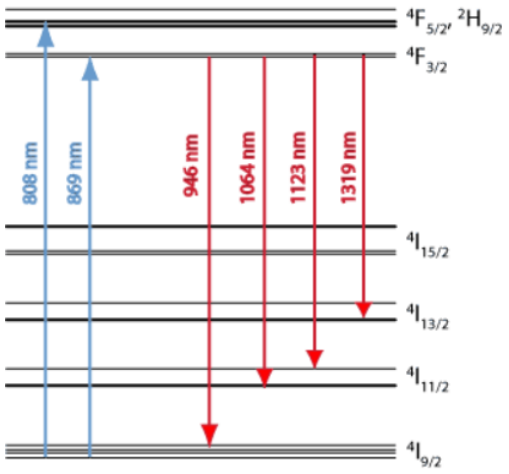


Fig.11.Energy level structure and common pump and laser transitions of the trivalent neodymium ion in Nd^{3+}:YAG.

4.2. Yb:YAG

Yb:YAG (Ytterbium-doped YAG) has become highly important for modern high-power laser systems. Unlike Nd^{3+}, Yb^{3+} has a simpler energy level structure consisting mainly of two manifolds, which reduces unwanted loss mechanisms such as excited-state absorption. The typical emission wavelength is around 1030 nm (figure12). Yb:YAG operates as a quasi-three-level system, meaning that some reabsorption can occur at room temperature. However, when pumped with laser diodes at wavelengths close to its absorption band, the quantum defect is small, leading to reduced heat generation and improved efficiency. The energy level diagram of Yb:YAG is shown in Figure 13.

Because of its favorable thermal properties and lower heat load, Yb:YAG is especially suitable for high-power laser architectures such as thin-disk and slab lasers. These systems can reach very high output powers while maintaining good beam quality. Yb:YAG lasers are widely used in precision micromachining, materials processing, and as pump sources for ultrafast laser systems. Their efficiency and scalability make them key materials in next-generation industrial and scientific laser technologies.

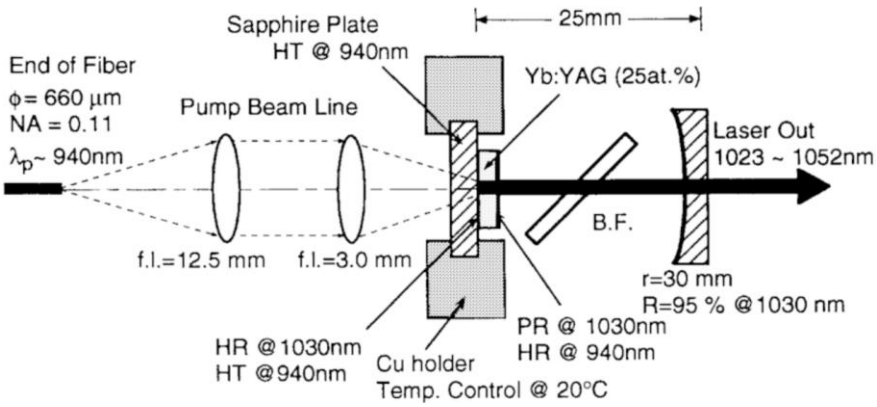


Fig.12. Schematic of the coupled-cavity Yb:YAG laser. For tuning and mode selection, 1–mm-thick birefringent filters were used.

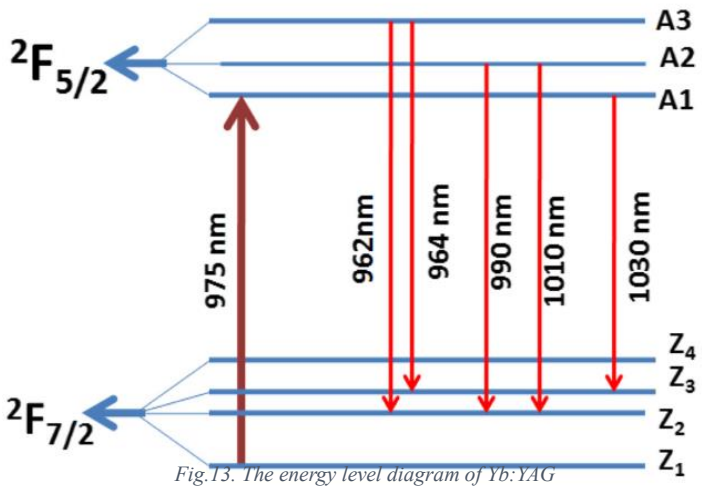


Fig.13. The energy level diagram of Yb:YAG

4.3 Er:YAG

Er:YAG (Erbium-doped YAG) emits laser radiation at approximately 2.94 μm, which corresponds to a strong absorption peak of water. This wavelength is highly significant because biological tissues contain a large amount of water. The laser transition typically occurs between the $^4I_{11/2}$ and $^4I_{13/2}$ levels of Er^{3+} ions (figure14). Due to the relatively large quantum defect and longer wavelength, thermal management is more challenging compared to Nd:YAG or Yb:YAG systems.

The strong absorption of 2.94 μm radiation by water makes Er:YAG lasers particularly effective for medical and dental applications. They are widely used for precise tissue ablation, skin resurfacing, and hard tissue procedures such as bone or tooth treatment. Because energy is absorbed very efficiently at shallow depths, surrounding tissues experience minimal thermal damage. This property makes Er:YAG lasers especially valuable in minimally invasive medical procedures.

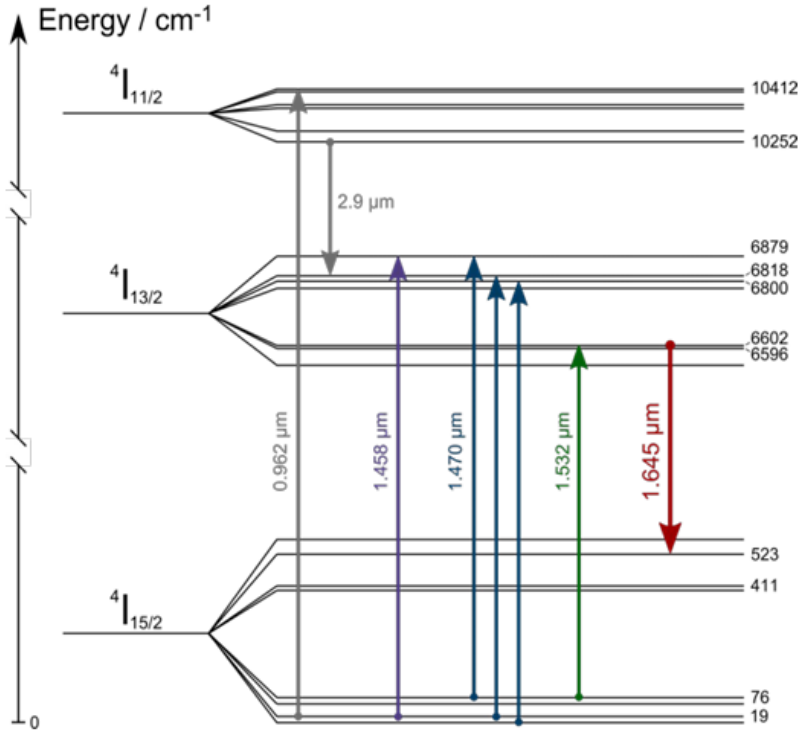
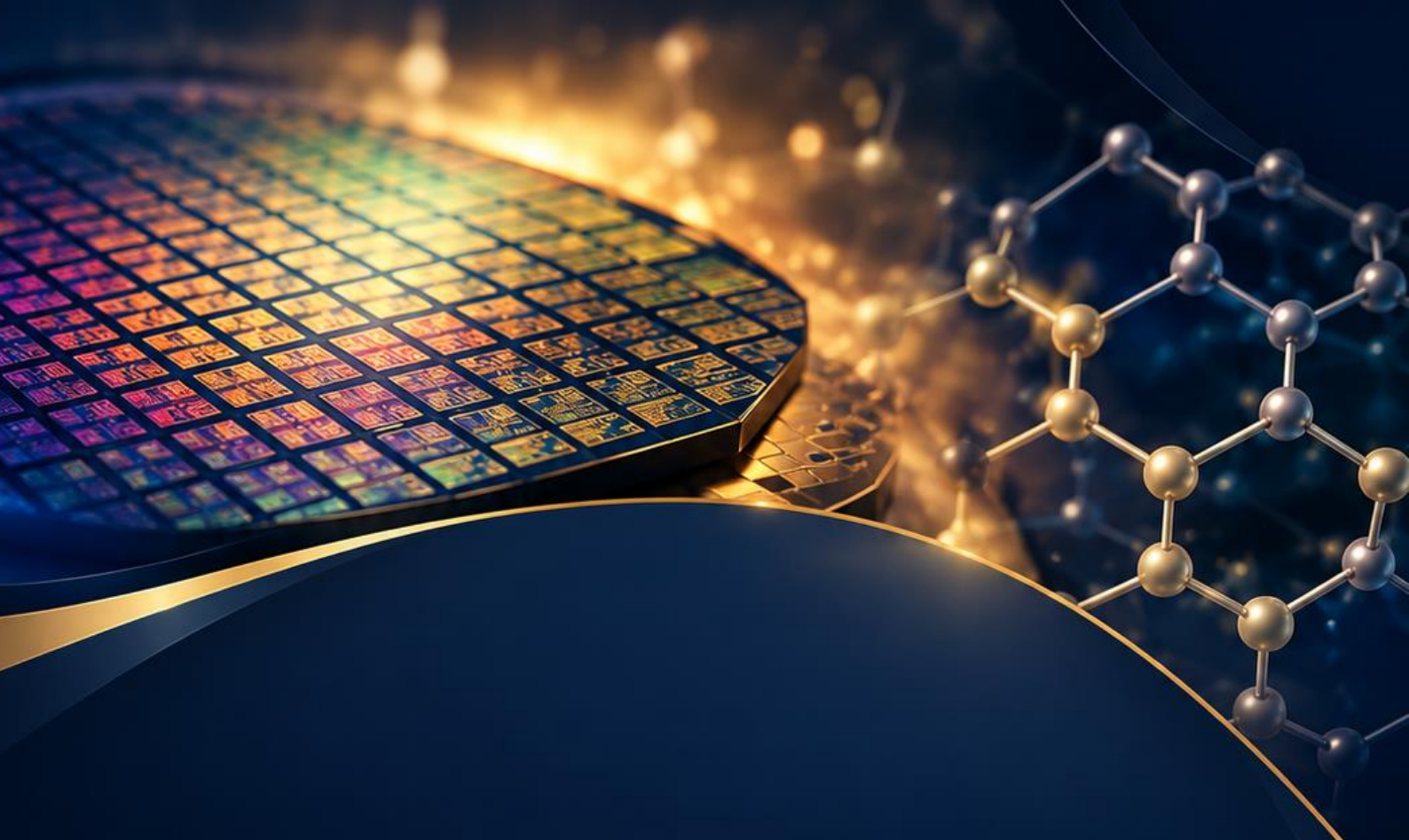


Fig.14. Energy level diagram of Er:YAG indicating possible resonant pumping schemes for laser operation at 1.645 µm.

5 Conclusion

Rare-earth-doped YAG solid-state lasers represent a cornerstone of modern laser technology, combining materials engineering with rich and well-understood physical mechanisms. The interaction between localized 4f electronic states and the crystalline YAG host enables efficient light amplification across a wide spectral range. Differences in energy level structure, quantum defect, and thermal behavior among Nd:YAG, Yb:YAG, and Er:YAG systems give rise to distinct performance characteristics and application niches. Future breakthroughs will likely come from an even more refined co-design of material composition and photonic device architecture.



The Rise of Wide-Bandgap Semiconductors: Materials, Properties, Applications, and Future Outlook



Behrad Sadiqikia

B.Sc. Student at university of tabriz,
Materials and Metallurgical Engineering

Executive Summary

Semiconductors constitute the fundamental infrastructure of modern electronic technology by enabling precise control of electrical energy in systems ranging from portable consumer devices to large-scale industrial power networks. For several decades, silicon has remained the dominant semiconductor material due to its natural abundance, cost-effectiveness, and highly mature fabrication ecosystem. However, the growing global demand for higher efficiency, increased power density, and reliable operation under extreme electrical and thermal conditions has revealed the intrinsic physical limitations of silicon-based devices.Wide-bandgap (WBG) semiconductors—most notably silicon carbide (SiC) and gallium nitride (GaN)—as well as emerging ultra-wide-bandgap materials such as gallium oxide (Ga_2O_3) and diamond, provide substantial improvements in breakdown voltage, thermal stability, switching speed, and overall energy efficiency.This paper presents an analytical overview of semiconductor fundamentals, evaluates silicon's technological limitations, examines the advantages of WBG materials, highlights major industrial applications, and discusses future technological directions.

1. Introduction

The Technological Transition Beyond Silicon Semiconductors enable advanced electronic systems through controlled manipulation of electrical conductivity. By means of intentional doping and externally applied bias, these materials function as switches, amplifiers, sensors, and power conversion components.Their tunable electrical characteristics distinguish them from conductors and insulators, making them indispensable in computing, telecommunications, transportation systems, and renewable energy infrastructure. As performance requirements continue to escalate—particularly in high-power and high-frequency applications—the physical constraints of conventional silicon technology have intensified global research efforts toward alternative semiconductor materials with superior electrical and thermal properties.



2. Physical Foundations of Semiconductor Behavior and Band Structure Engineering

Semiconductors exhibit electrical conductivity intermediate between that of conductors and insulators. This behavior originates from their electronic band structure, characterized by a finite bandgap separating the valence band from the conduction band. Electrical conductivity can be engineered through controlled doping, electric field application, temperature variation, or optical excitation, which regulate the concentration and mobility of charge carriers.This controllability forms the scientific foundation of diodes, transistors, integrated circuits, and modern power electronic devices.

3. Silicon Technology: Achievements, Maturity, and Physical Limitations

Silicon has achieved dominance in the semiconductor industry due to its favorable combination of abundance, low manufacturing cost, and well-established processing technologies. For more than five decades, silicon-based devices have enabled exponential growth in microelectronics and information technology. Nevertheless, silicon possesses inherent physical limitations, including a relatively narrow bandgap (~1.1 eV), limited breakdown electric field strength, and performance degradation at elevated temperatures.
These constraints increasingly restrict its suitability for high-voltage, high-power, and high-frequency applications, thereby motivating the transition toward wide-bandgap alternatives.

4. Wide-Bandgap Materials: Enhanced Electrical and Thermal Performance

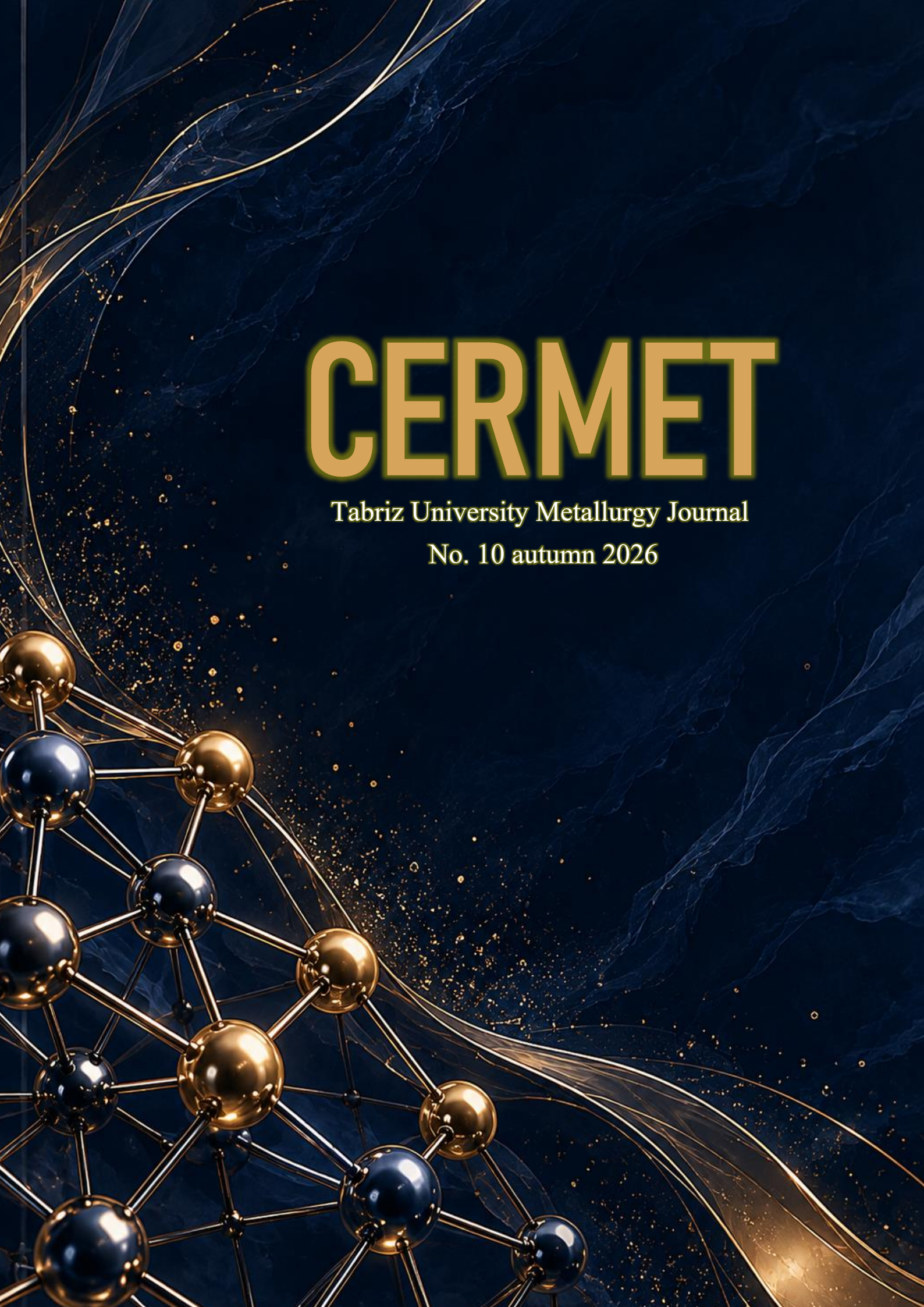
Wide-bandgap semiconductors possess significantly larger bandgap energies than silicon, resulting in higher breakdown electric fields, lower conduction losses, improved thermal stability, and enhanced switching performance. 4.1 Silicon Carbide (SiC): High-Voltage Power Systems .Silicon carbide is widely deployed in high-voltage and high-power applications, including electric vehicle (EV) inverters, industrial motor drives, and smart grid infrastructure. Its superior thermal conductivity and high critical electric field enable reduced device size and improved system efficiency. 4.2 Gallium Nitride (GaN): High-Frequency Switching Applications. Gallium nitride is characterized by high electron mobility and rapid switching capability, making it particularly suitable for high-frequency and compact power electronic systems such as fast chargers, RF amplifiers, and telecommunications equipment. 4.3 Emerging Ultra-Wide-Bandgap Materials.Ultra-wide-bandgap materials such as gallium oxide (Ga_2O_3) exhibit exceptionally high theoretical breakdown field strength. However, their relatively low thermal conductivity presents engineering challenges that remain under active investigation.

5. Industrial and Emerging Applications of WBG Devices

The integration of WBG materials is transforming multiple technological sectors.
In consumer electronics, GaN-based chargers provide compact dimensions and higher conversion efficiency. In transportation systems, SiC-based power modules enhance electric vehicle efficiency, extend driving range, and improve thermal reliability. Renewable energy systems benefit from reduced conversion losses and increased durability, while defense and telecommunications sectors exploit GaN devices for high-frequency radar systems and 5G infrastructure.

6. Technical Challenges and the Future Evolution of Wide-Bandgap Technologies

Despite their substantial advantages, WBG and ultra-wide-bandgap semiconductors face several technical challenges, including higher fabrication costs, defect density during crystal growth, and packaging-related thermal management issues.Continuous progress in wafer manufacturing, epitaxial growth techniques, advanced packaging strategies, and AI-assisted device optimization is progressively mitigating these limitations.In the near term, hybrid silicon–WBG systems are expected to provide a balanced compromise between cost and performance. In the long term, WBG materials are projected to play a pivotal role in advancing global energy efficiency and enabling sustainable electronic technologies.


CERMET
Tabriz University Metallurgy Journal
No. 10 autumn 2026