

کد رهگیری ثبت پروپوزال:

کد رهگیری ثبت پایان نامه:

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

کلیه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی سینا یا استاد راهنمای پایان‌نامه و نام دانشجو با ذکر مأخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت. درج آدرس‌های ذیل در کلیه مقالات خارجی و داخلی مستخرج از تمام یا بخشی از مطالب این پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها الزامی می‌باشد.

....., Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.

مقالات

..... گروه، دانشکده، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.

مقالات داخلی



دانشگاه شیراز
دانشکده علوم
گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک گرایش حالت جامد

عنوان:

تغییرات زمانی میدان دما در یک مذاب دو بُعدی چُکِالسکی

استاد راهنما:

دکتر محمد حسین توکلی

استاد مشاور:

دکتر فریدون سموات

نگارش:

مریم معصومی



دانشگاه بوعلی سینا
مشخصات پایان نامه تحصیلی

عنوان:

تغییرات زمانی میدان دما در یک مذاب دو بُعدی چکرالسکی

نام نویسنده: مریم معصومی

نام استاد راهنما: دکتر محمد حسین توکلی

نام استاد مشاور: دکتر فریدون سموات

دانشکده: علوم

گروه آموزشی: فیزیک

رشته تحصیلی: فیزیک

گرایش تحصیلی: حالت جامد

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد

تاریخ تصویب پروپوزال: ۹۰/۱۰/۱۲

تاریخ دفاع: ۹۱/۱۱/۲۸

تعداد صفحات: ۱۱۰

چکیده:

آینده مدل‌سازی سیستم رشد بلور به پیشرفت در مدل‌سازی پارامترهای تاثیر گذار وابسته است. تلاش‌های فراوانی برای تحلیل پدیده‌های انتقال در رشد بلور شده است. در سیستم‌های رشد بلور به روش چکرالسکی کیفیت و اندازه بلورهای رشد داده شده به مجموعه عوامل فیزیکی سیستم و فرآیند رشد بستگی دارد. در این بین دو نوع متغیر سیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. متغیرهای درونی که معمولاً غیر قابل دسترس هستند و پارامترهای بیرونی که معمولاً قابل کنترل هستند. دمای محیط یکی از عواملی است که بر میدان دمایی در مذاب اثر دارد. در این پژوهش جزئیات نوسانات دمایی در یک مدل از مذاب چکرالسکی با استفاده از روش‌های عددی (نرم افزار فلوئنت) مورد تحقیق و بررسی قرار گرفت. بدین منظور، یک دامنه نوسانی دما در دیواره جانبی بوته در نظر گرفته شد و تأثیر آن روی قسمت‌های دیگر ماده مذاب بررسی گردید. همچنین، ناپایداری‌های جریان مذاب در طی فرآیند رشد بلور اکسید می‌تواند منجر به مشکلات جدی شود گاهی اوقات این ناپایداری‌ها آن قدر جدی هستند که باید روند رشد را متوقف کرد زیرا منجر به رشد بلور بطور ماریچی می‌شود. جریان همرفت طبیعی و جریان اجباری ناشی از چرخش بلور و جریان مارانگونی از عوامل موثر در ایجاد نوسانات دمایی و همچنین نوسانات انرژی جنبشی می‌باشند و با استفاده از سرعت چرخش مناسب می‌توان اثر ناپایداری‌های جریان همرفت طبیعی را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات زمانی، میدان دما، چکرالسکی، نوسانات دمایی، بلورهای اکسید.

۷۵.....	جدول ۱-۴ مقدار کمیت‌های فیزیکی مذاب سفایر
۸۶.....	جدول ۲-۴ مقدار کمیت‌های فیزیکی مذاب Nano ₃
۷۵.....	جدول ۳-۴ خصوصیات فیزیکی سیال داخل بوته

- شکل ۱-۱ انواع شبکه‌های فضایی ۲
- شکل ۱-۲ صفحه‌های اصلی ایجاد کننده ساختار یا قوت کبود ۴
- شکل ۱-۳ رشد به روش چکرالسکی ۵
- شکل ۱-۴ مراحل ایجاد بلور از فاز مذاب ۹
- شکل ۲-۱ تغییر شکل ناشی از اعمال نیروی برشی ۱۲
- شکل ۲-۲ نمودار نرخ تغییر شکل در مقابل تنش برشی ۱۵
- شکل ۲-۳ جریان موازی در یک گاز در زمان t ۱۶
- شکل ۲-۴ تنش برشی بر روی توده های A, B ۱۷
- شکل ۲-۵ خطوط جریان ۲۴
- شکل ۲-۶ المان سیال در جریان سیال حرکت می کند، نمایش مشتق کلی ۲۸
- شکل ۲-۷ حجم کنترل متحرک برای نشان دادن تغییر فیزیکی دیورژانس سرعت ۳۳
- شکل ۳-۱ جریان ورودی و خروجی در راستای X ۳۷
- شکل ۳-۲ نیروهای وارد بر ذره کوچکی از سیال در دیدگاه لاگرانژی ۳۸
- شکل ۳-۳ نیروهای فشاری اعمال شده به المان بی نهایت کوچک و متحرک سیال در راستای X ۴۴
- شکل ۳-۴ ناحیه تأثیر (ناحیه هاشور افقی) و ناحیه وابستگی (ناحیه هاشور عمودی) نقطه A ۵۴
- شکل ۳-۵ قلمرو حل یک معادله دیفرانسیل پارهای بیضوی ۵۵
- شکل ۳-۶ قلمرو حل یک معادله دیفرانسیل پارهای سهموی ۵۵
- شکل ۳-۷ انتشار اغتشاش در جریان مادون صوت ۵۷
- شکل ۳-۸ انتشار اغتشاش در جریان صوتی ۵۸
- شکل ۳-۹ انتشار اغتشاش در جریان مافوق صوت ۵۸
- شکل ۳-۱۰ جهت جریان گرما ۶۰
- شکل ۳-۱۱ انتقال گرمای جابجایی از صفحه ۶۱

- شکل ۳-۱۲ لایه مرزی حرارتی ۶۳
- شکل ۳-۱۳ لایه مرزی هیدرودینامیکی ۶۴
- شکل ۳-۱۴ توزیع دما در لایه مرزی حرارتی ۶۵
- شکل ۴-۱ نقاط تعیین شده در مذاب ۷۶
- شکل ۴-۲ تغییرات دمای مکان (۰ و ۰) ۷۷
- شکل ۴-۳ تغییرات دمای مکان (۰ و ۱) ۷۷
- شکل ۴-۴ تغییرات دمای مکان (۰ و ۲) ۷۷
- شکل ۴-۵ تغییرات دمای مکان (۰.۵ و ۰) ۷۹
- شکل ۴-۶ تغییرات دمای مکان (۰.۵ و ۱) ۷۹
- شکل ۴-۷ تغییرات دمای مکان (۰.۵ و ۲) ۷۹
- شکل ۴-۸ تغییرات دمای مکان (۱ و ۰) ۸۱
- شکل ۴-۹ تغییرات دمای مکان (۱ و ۱) ۸۱
- شکل ۴-۱۰ تغییرات دمای مکان (۱ و ۲) ۸۱
- شکل ۴-۱۱ $t=0$ s ۸۲
- شکل ۴-۱۲ $t=500$ s ۸۲
- شکل ۴-۱۳ $t=1000$ s ۸۲
- شکل ۴-۱۴ $t=1500$ s ۸۲
- شکل ۴-۱۵ $t=2000$ s ۸۲
- شکل ۴-۱۶: ترسیم ساده‌ای از سیستم رشد بلور ۸۴
- شکل ۴-۱۷ نمونه‌ای از بلورهایی که در طی فرآیند رشد دچار رشد مارپیچ شده‌اند ۸۵
- شکل ۴-۱۸ مدل ساده شده شرایط مرزی ۸۷
- شکل ۴-۱۹ توابع کاربری ۸۷
- شکل ۴-۲۰ میدان دما و تابع جریان در حالت $Re = 0$ ۸۸

- شکل ۴-۲۱ میدان دما و تابع جریان در حالت $Re = 1000$ ۸۸
- شکل ۴-۲۲ سرعت چرخشی ایجاد شده در سیال ناشی از چرخش دیسک در $Re = 1000$ ۸۹
- شکل ۴-۲۳ میدان دما و تابع جریان در حالت $Re = 5000$ ۸۹
- شکل ۴-۲۴ توزیع سرعت چرخشی در $Re = 5000$ ۹۰
- شکل ۴-۲۵ نوسانات انرژی جنبشی در $Re = 500$ ۹۲
- شکل ۴-۲۶ نوسانات انرژی جنبشی در $Re = 1000$ ۹۳
- شکل ۴-۲۷ هندسه مدل سازی شده ۹۴
- شکل ۴-۲۸ میدان هم دما در سطح مذاب در زمان 50 s ۹۷
- شکل ۴-۲۹ بردار سرعت در برش مقطع عمودی در زمان 50 s ۹۷
- شکل ۴-۳۰ برهم کنش جریان شناوری و جریان اجباری ۹۹
- شکل ۴-۳۱ بردار جریان در برش مقطع عمودی ۹۹
- شکل ۴-۳۲ میدان هم دما در سطح مذاب در زمان 70 s ۱۰۰
- شکل ۴-۳۳ بردار سرعت در برش مقطع عمودی در زمان 70 s ۱۰۰
- شکل ۴-۳۴ بردار سرعت در سطح سیال در راستای شعاعی ۱۰۱
- شکل ۴-۳۵ جریان ناشی از برهم کنش جریان شناوری و جریان اجباری در دو راستای عمودی و افقی
- سطح مذاب ۱۰۳
- شکل ۴-۳۶ بردار سرعت در برش مقطع عمودی سطح در زمان 95 s ۱۰۳

فصل اول: بلورشناسی و رشد بلور

۱-۱ بلور شناسی.....	۱
۱-۱-۱ تاریخچه بلورشناسی.....	۱
۱-۱-۲ تعریف بلور.....	۱
۱-۱-۳ ساختمان داخلی بلورها.....	۱
۱-۱-۴ ناهمسانگردی.....	۳
۱-۱-۵ تقارن.....	۳
۱-۱-۶ انواع بلورها بر حسب نیروهای بستگی بین اتم‌ها و مولکول‌های آنها.....	۳
۱-۱-۷ تک بلور سفایر.....	۴
۱-۲ رشد بلور.....	۴
۱-۲-۱ روش‌های رشد بلور.....	۴
۱-۲-۱-۱ رشد به روش چُکراسکی.....	۵
۱-۲-۱-۲ روش رشد.....	۸
۱-۲-۱-۳ کنترل قطر بلور.....	۹

فصل دوم: مکانیک سیالات

۱-۲ مکانیک سیالات.....	۱۱
۱-۲-۱ مفهوم سیال.....	۱۱
۱-۲-۲ خواص سیال.....	۱۲
۱-۲-۳ لزجت سینماتیک.....	۱۵
۱-۲-۴ مشخصه‌های جریان.....	۱۸
۱-۲-۴-۱ سیال ایده‌آل.....	۱۹
۱-۲-۴-۲ جریان آرام و درهم.....	۱۹

- ۲۰-۱-۴-۳ جریان برگشت پذیر و برگشت ناپذیر..... ۲۰
- ۲۰-۱-۴-۴ جریان دائمی و غیر دائمی..... ۲۰
- ۲۰-۱-۴-۵ جریان یکنواخت و غیر یکنواخت..... ۲۰
- ۲۱-۱-۴-۶ جریان چرخشی..... ۲۱
- ۲۱-۲-۲ مبانی کلی حرکت سیالات..... ۲۱
- ۲۱-۲-۲-۱ خطوط جریان..... ۲۱
- ۲۴-۲-۲-۲ خطوط مسیر..... ۲۴
- ۲۶-۲-۳ نگرشهای لاگرانژی و اویلری..... ۲۶
- ۲۶-۳-۱ نگرش لاگرانژی..... ۲۶
- ۲۷-۳-۲ نگرش اویلری..... ۲۷
- ۲۷-۴-۲ مشتق مادی (شدت تغییر آنی نسبت به زمان)..... ۲۷
- ۳۲-۵-۲ دیورژانس سرعت و مفهوم فیزیکی آن..... ۳۲

فصل سوم: معادلات حاکم بر جریان سیال

- ۳۷-۱-۳ معادله پیوستگی..... ۳۷
- ۳۸-۲-۳ معادلات ناویراستوکس..... ۳۸
- ۴۰-۱-۲-۳ تعریف سیال نیوتنی در جریان سه بُعدی..... ۴۰
- ۴۳-۳-۳ معادله انرژی..... ۴۳
- ۴۶-۴-۳ تابع جریان و خواص آن..... ۴۶
- ۴۸-۵-۳ ترم‌های موجود در معادله بقاء..... ۴۸
- ۴۸-۱-۵-۳ ترم $\frac{\partial \rho}{\partial t}$ ۴۸
- ۴۸-۲-۵-۳ ترم‌های معادله بقاء اندازه حرکت:..... ۴۸
- ۴۸-۱-۲-۵-۳ ترم تعادل $\frac{\partial w}{\partial t}, \frac{\partial v}{\partial t}, \frac{\partial u}{\partial t}$ ۴۸
- ۴۸-۲-۲-۵-۳ ترم جابجایی $div(uv), div(vv), div(wv)$ ۴۸

- ۴۸ $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}$ ترم انتشار ناشی از لزجت ۳-۲-۵-۳
- ۴۹ $\frac{\partial P}{\partial x}, \frac{\partial P}{\partial y}, \frac{\partial P}{\partial z}$ گرادیان فشار ۴-۲-۵-۳
- ۴۹ ترم‌های معادله انرژی ۳-۵-۳
- ۴۹ $\frac{\partial T}{\partial t}$ ترم تعادل ۱-۳-۵-۳
- ۵۰ $u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z}$ ترم جابجایی ۲-۳-۵-۳
- ۵۰ $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$ ترم هدایت انرژی ۳-۳-۵-۳
- ۵۰ $\frac{\partial(u\sigma_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(u\tau_{zx})}{\partial z} + \dots$ ترم اتلاف حرارتی ۴-۳-۵-۳
- ۵۰ q'' ترم شار حرارتی ۵-۳-۵-۳
- ۵۰ تقسیم‌بندی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای ۶-۳
- ۵۱ ۱-۶-۳ معادلات دیفرانسیل پاره‌ای خطی و غیرخطی
- ۵۱ ۲-۶-۳ معادلات دیفرانسیل پاره‌ای مرتبه دوم
- ۵۴ ۳-۶-۳ معادلات بیضوی
- ۵۵ ۴-۶-۳ معادلات سهموی
- ۵۶ ۵-۶-۳ معادلات هذلولوی
- ۵۸ ۶-۶-۳ شرایط اولیه و شرایط مرزی
- ۵۹ ۷-۳ انتقال حرارت در سیالات
- ۵۹ ۱-۷-۳ انتقال حرارت
- ۶۰ ۱-۱-۷-۳ انتقال حرارت هدایتی
- ۶۱ ۲-۱-۷-۳ انتقال گرمای جابجایی
- ۶۲ ۳-۱-۷-۳ انتقال گرمای تابشی
- ۶۲ ۲-۷-۳ مفهوم لایه مرزی
- ۶۲ ۱-۲-۷-۳ لایه مرزی حرارتی
- ۶۳ ۲-۲-۷-۳ لایه مرزی هیدرودینامیکی

۳-۷-۳ مفهوم فیزیکی پارامترهای بدون بعد..... ۶۵

۸-۳ نرم افزار Fluent..... ۶۶

فصل چهارم: محاسبات و نتایج

۱-۴ شبیه‌سازی سیستم رشد بلور..... ۷۱

۲-۴ اثر تغییرات دمای دیواره بوته بر مذاب چکراسکی..... ۷۴

۱-۲-۴ مدل ریاضی..... ۷۵

۲-۲-۴ نتایج و بحث..... ۷۶

۳-۴ ناپایداری‌های جریان مذاب..... ۸۴

۱-۳-۴ نتایج و بحث..... ۸۵

۴-۴ جریان و میدان همدمای مذاب..... ۹۴

۱-۴-۴ شرایط مرزی..... ۹۵

۲-۴-۴ نتایج و بحث..... ۹۶

۵-۴ نتیجه‌گیری..... ۱۰۴

مراجع..... ۱۰۷

فصل اول

بلورشناسی و رشد بلور

۱-۱ بلور شناسی**۱-۱-۱ تاریخچه بلور شناسی**

کلمه بلور (Crystal) ریشه یونانی دارد. این کلمه از دو کلمه (Kryos = سرد) و (Stellesual = سخت شدن) تشکیل شده که در مجموع معنی سخت شدن در اثر سرما را می‌دهد [۱].

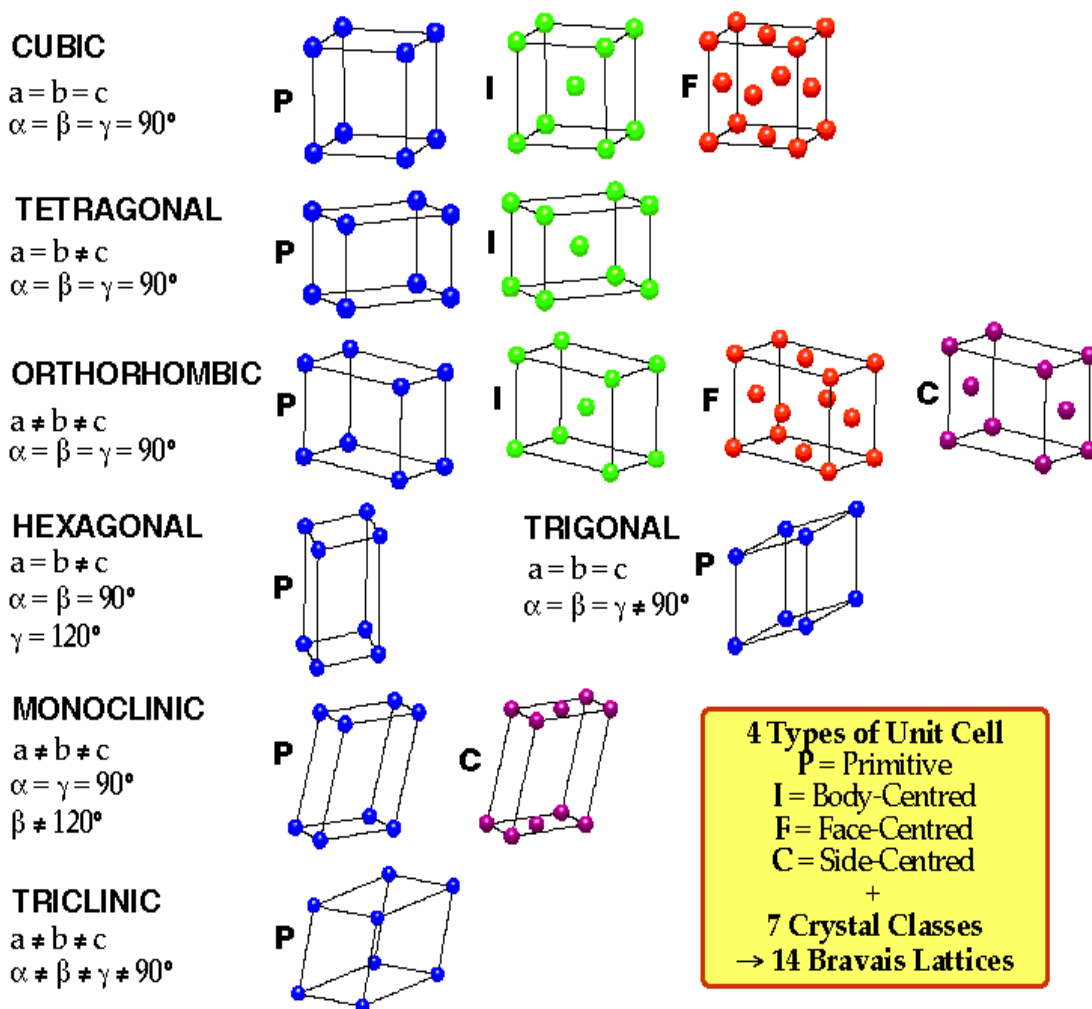
۱-۱-۲ تعریف بلور

بلور جسمی همگن و ناهمسانگرد و شامل نظم سه بعدی تناوبی از اتم‌ها، یون‌ها، یا مولکول‌هاست. از آن‌جا که فاز منظم بلورین حالتی با کمترین انرژی است، اگر دما به اندازه کافی پایین باشد، تمام مواد گرایش به تبلور دارند. در هر حال، موادی مانند شیشه‌ها وجود دارند که هرگز به این شرایط نمی‌رسند. شیشه، مذابی با گرانروی بسیار بالا است و اتم‌های سازنده آن، با سرد شدن توده مذاب، به سرعت نظم سه بعدی تناوبی به خود نمی‌گیرند. به این ترتیب شیشه‌ها انرژی بالاتری نسبت به بلورهای متناظر دارند. این مواد آمورف هستند چنین موادی وجوه تخت یا چند ضلعی به وجود نمی‌آورند زیرا فاقد یک نظم زیر بنایی هستند. مواد متبلور در موقع تبلور از خود انرژی تولید می‌نمایند. این انرژی به صورت حرارت ظاهر می‌گردد و منحنی تنزل حرارت در جسم بی شکل یکنواخت ولی در جسم متبلور پلکانی است [۲ و ۳].

۱-۱-۳ ساختمان داخلی بلورها

در تشکیل بلورها گفته شده که اتم‌ها در فواصلی منظم از یکدیگر در شرایطی که نیروهای جاذبه و دافعه بین آن‌ها برآیند صفر دارد، نسبت به هم قرار می‌گیرند. واحدی که بدین ترتیب ساخته می‌شود و شکل هندسی دارد را واحد شبکه می‌نامیم. این شکل به تعداد و نوع اتم‌های سازنده بستگی دارد زیرا نیروهای جاذبه و دافعه بین اتم‌های مختلف فرق دارند. ابعاد این اشکال هندسی از مرتبه آنگستروم است (سانتی‌متر^{۱۰^{-۸}}) که با کنار هم قرار گرفتن این واحدهای شبکه، بلورهای قابل رؤیت ساخته می‌شود. در نتیجه واحد شبکه در سه جهت بطور نامحدود تکرار می‌شود. اگر نقطه را مبدأ در

نظر بگیریم ملاحظه می‌شود که با تکرار این نقطه و رعایت فواصل مساوی در سه جهت متعامد و یا سه جهت با زوایای مختلف نسبت بهم که معمولاً با زوایای α و β و γ مشخص می‌شوند. فواصل نیز می‌توانند در سه جهت، سه مقدار مختلف باشند که هر کدام در یک جهت تکرار شوند. این فواصل و زوایا را (a و b و c و α و β و γ) ثابت شبکه می‌نامند. منظور از انتقال مکرر برای مثال رسیدن به یک شکل مکعبی از انتقال یک نقطه و رسیدن به هشت کنج مکعب است [۴] و در کل هفت دستگاه بلوری و چهارده شبکه فضایی در مواد مختلف وجود دارد و در شکل (۱-۱) انواع شبکه های فضایی قابل مشاهده است [۵].



شکل ۱-۱ انواع شبکه‌های فضایی

۴-۱-۱ ناهمسانگردی

می‌دانیم که سرعت انتشار نور در جهات مختلف شیشه که جسم غیرمتبلور است، یکنواخت می‌باشد. از این نظر شیشه را یک جسم یک شکستی همسانگرد می‌گوییم. در بلورهایی که سیستم تبلور آن‌ها غیر از مکعب می‌باشد سرعت عبور نور، ضریب هدایت حرارت، ضریب هدایت الکتریسیته، ضریب انبساط، درجه سختی و سایر اختصاصات فیزیکی، بسته به جهات فضایی بلور متفاوت است. به همین دلیل اینگونه بلورها را بلورهای ناهمسانگرد می‌نامیم. بنابراین اجسام متبلور ممکن است در جهات مختلف دارای اختصاصات فیزیکی متفاوت باشند. هرچند که خواص فیزیکی بسته به جهت بلور متغیر است، ولی این خواص در طول هریک از جهات فضایی بلور ثابت است.

۵-۱-۱ تقارن

ممکن است خصوصیات فیزیکی یک بلور در چند جهت فضایی یکسان و شبیه باشد، در این صورت می‌گوییم که در جهات مشابه متقارن‌اند. تقارن آن‌ها ممکن است محوری یا سطحی و یا مرکزی باشد [۳].

۶-۱-۱ انواع بلورها بر حسب نیروهای بستگی بین اتم‌ها و مولکول‌های آنها

یونی: این بلورها، بلورهایی هستند که در آن‌ها الکترون‌های والانس از یک اتم به اتم دیگر انتقال داده شده و در نتیجه بلور از یون‌های مثبت و منفی تشکیل شده است. مانند: NaCl.

کووالانت: بلورهایی هستند که در آن‌ها الکترون‌های والانس بطور یکسان بین اتم‌های مجاور به اشتراک گذارده شده‌اند. مانند: الماس.

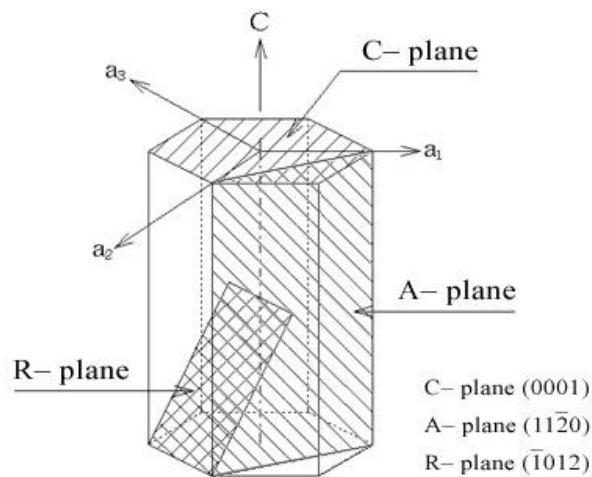
فلزی: عناصر فلزی در حالت آزاد تشکیل بلورهای فلزی می‌دهند که وجود تعداد زیادی الکترون آزاد در این بلورها از مشخصات آن‌هاست.

مولکولی: گازهای نادر بوسیله نیروهای ضعیفی به نام نیروهای واندوالسی بستگی پیدا

می‌کنند [۶].

۷-۱-۱ تک بلور سفایر

بلور سفایر (یا قوت کبود) دارای خصوصیات فیزیکی (اپتیکی، مکانیکی، گرمایی) و شیمیایی منحصر به فردی است و دارای پایداری تابشی بالا در مقایسه با مواد اپتیکی دیگر است و به دلیل داشتن این برتری‌ها کاربردهای فراوانی در صنعت دارد. بلور یا قوت کبود متعلق به طبقه ساختار منشور شش وجهی (هشت سطحی) است. شکل (۲-۱) ساختار فضائی یا قوت کبود را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱ صفحه‌های اصلی ایجاد کننده ساختار یا قوت کبود

۲-۱ رشد بلور

رشد بلور عبارت است از کنترل تغییر فاز برای ایجاد ساختار بلوری از ماده اولیه، که ماده اولیه ممکن است جامد، مایع یا گاز باشد.

۱-۲-۱ روش‌های رشد بلور

۱. رشد بلور از فاز جامد

۲. رشد بلور از فاز مایع (الف) رشد از محلول (ب) رشد از مذاب

۳. رشد بلور از فاز بخار

روش‌های رشد بلور از مذاب به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

(۱) روش چکراسکی^۱

(۲) روش کایروپلوس^۲

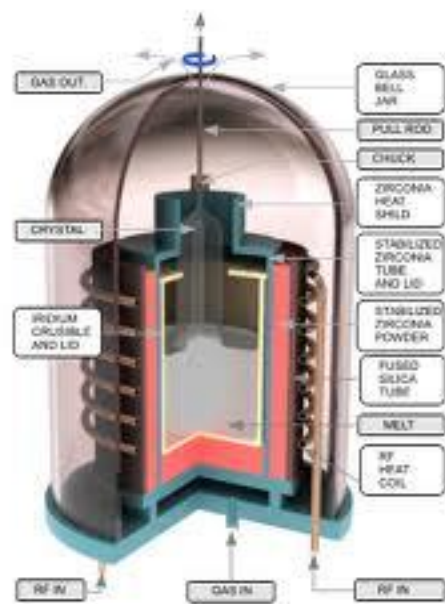
(۳) روش بریجمن^۳

(۴) روش ذوب منطقه‌ای^۴

روش کایروپلوس و روش ذوب منطقه‌ای به ترتیب دو حالت ساده از روش‌های چکراسکی و

بریجمن هستند.

۱-۲-۱-۱ رشد به روش چکراسکی



شکل ۱-۳ رشد به روش چکراسکی

روش چکراسکی یکی از کارآمدترین روش‌های رشد بلور است که تقریباً همه‌ی انواع بلورها را می‌توان با این روش رشد داد. در شکل (۱-۳) سیستم رشد بلور به روش چکراسکی قابل مشاهده

1-Czochralski method

2 -Kyropluos method

3-Bridgman method

4-Zone melt method

است. به طور مثال استفاده از روش چُکرالسکی برای رشد بلورهای نیمه هادی که باید تا حد امکان عاری از نقایص و در رفتگی‌ها باشند، در اواسط سال ۱۹۵۰ به خوبی تثبیت شد. همچنین پیشینه استفاده از این روش برای رشد بلورهای اکسیدی به سال ۱۹۶۰ بر می‌گردد. تقریباً تمام بلورهای اکسید تجاری مهم در حال حاضر توسط روش چُکرالسکی رشد داده می‌شوند. به طور کلی دمای ذوب بالای بلورهای اکسید به همراه خواص شیمیایی متفاوت نسبت به نیمه رساناهای ذوب شده، باعث ایجاد تفاوت‌های مهمی در نحوه رشد بلورهای اکسید در مقایسه با نیمه رساناها شده است. در اکسیدهای با دمای نقطه ذوب بالا، بوته از فلزات گران‌بها (بوپزه پلاتین و ایریدیم) تولید می‌شود و مذاب در داخل آن قرار می‌گیرد. برای اکسیدهای چند ترکیبی با دمای نقطه ذوب پایین‌تر برای ایجاد بوته از مولیبدن یا تنگستن استفاده می‌شود. برای رشد $MgAl_2O_4$ با دمای نقطه ذوب $2105^\circ C$ و سفایر با دمای نقطه ذوب $2050^\circ C$ بوته ایریدیم مورد استفاده قرار می‌گیرد. عایق‌های حرارتی به طور وسیع و موثر برای اتاقک کشش مورد نیاز است که این عایق‌ها از مواد نسوز مانند آلومینا، منیزیم، زیرکونیوم و توریا تهیه می‌شوند. دمای نقطه ذوب عایق باید البته بالاتر از بلور در حال رشد باشد.

گرم کننده القایی با بسامد رادیویی، تمیزترین و بهترین روش عملی آسان برای تولید گرما در بوته فلزات گران‌بها است. هرچند به خاطر منافع اقتصادی معمولاً از گرم کننده‌های مقاومتری استفاده می‌شود خصوصاً در رشد بلورهایی با دمای نقطه ذوب پایین‌تر، گرم‌کننده بسامد رادیویی به هر حال مشکلاتی را برای خودش به همراه دارد. برای مثال برخی از فرآورده‌های نسوز مانند زیرکونیا تمایل به هماهنگی با میدان RF در دمای بالا را دارند و باعث تولید نقاط داغ موضعی در بوته می‌شوند که می‌تواند بوته را ذوب کند بطوریکه تغییر شکل در بوته، مشکلات جدی را بوجود می‌آورد. در رشد بلورهای اکسید معمولاً چرخش یا جابجایی بوته کمتر رایج است و همچنین به دلیل کاهش سطح مذاب نرخ رشد بیشتر از سرعت کشش در بلور می‌باشد. برای یک رشد پایدار، قطر بلور نباید به میزان قابل توجهی بیشتر از نصف قطر بوته باشد. سرعت رشد واقعی به عبارتی کمتر از یک میلی‌متر در