بسم الله الرحمن الرحيم

همه امتیازهای این پایان‌نامه به دانشگاه بوعلی سینا تعلق دارد. در صورت استفاده از تمام یا بخشی از مطالب پایان‌نامه در مجلات، کنفرانس‌ها و یا سخنرانی‌ها، باید نام دانشگاه بوعلی (یا استاد یا اساتید راهنمای پایان‌نامه) و نام دانشجو با ذکر ماخذ و ضمن کسب مجوز کتبی از دفتر تحصیلات تکمیلی دانشگاه ثبت شود. در غیر این صورت مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه:

برای دریافت کارشناسی ارشد در رشته فیزیک حالت جامد

عنوان:

شبیه‌سازی دو بعدی عددی جریان‌های شاره در رشد بلور Al_2O_3 از مذاب

استاد راهنما:

دکتر محمدحسین توکلی

استاد مشاور:

دکتر فریدون سموات

پژوهشگر:

ابراهیم محمّدی‌منش

اردیبهشت ۱۳۸۹

دانشکده علوم
گروه فیزیک

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

عنوان:

شبیه‌سازی دو بعدی عددی جریان‌های شاره در رشد بلور Al_2O_3 از مذاب

استاد راهنما:
دکتر محمّدحسین توکلی

پژوهشگر:
ابراهیم محمّدی‌منش

کمیته ارزیابی پایان نامه

۱- استاد راهنما: **دکتر محمّد حسین توکلی** .....استادیار فیزیک

۲- استاد مشاور: **دکتر فریدون سموات** .....استادیار فیزیک

۳- استاد مدعو: **دکتر بابک ژاله** .....استادیار فیزیک

۴- استاد مدعو: **دکتر منوچهر بابایی‌پور**.....استادیار فیزیک

دانشکده علوم

گروه فیزیک

جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

ابراهیم محمّدی‌منش در رشته فیزیک (گرایش حالت جامد)

تحت عنوان:

شبیه‌سازی دو بعدی عددی جریان‌های شاره در رشد بلور Al_2O_3 از مذاب

به ارزش ۶ واحد در روز شنبه مورخ ۱۳۸۹/۲/۴ ساعت ۱۳-۱۱:۳۰ در محل آمفی تئاتریک و با حضور اعضای هیأت داوران زیر برگزار گردید و با نمره ۱۹/۷۵ درجه عالی ارزیابی شد.

ترکیب اعضای هیأت داوران:

ردیف	سمت در هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی ـ گروه/ دانشکده/ دانشگاه	محل امضاء
۱.	استاد راهنما	دکتر محمّدحسین توکلی	استادیار- فیزیک/علوم/بوعلی سینا	
۲.	استاد مشاور	دکتر فریدون سموات	استادیار- فیزیک/علوم/بوعلی سینا	
۳.	استاد مدعو	دکتر بابک ژاله	استادیار- فیزیک/علوم/بوعلی سینا	
۴.	استاد مدعو	دکتر منوچهر بابائی پور	استادیار- فیزیک/علوم/بوعلی سینا	

تقدیم به:

دو شهید گمنام دانشگاه که در سالهای ۱۳۶۱ و ۱۳۶۲ (ه. ش) جام شهادت را در سن ۱۹ و ۲۵ سالگی نوشیدند. آنان که دو یادگار از عملیات های مسلم بن عقیل و خیبر ند و امروز هم زمان با نگاشتن این صفحه به تاریخ ۲۷ اردیبهشت ۱۳۸۹ (ه. ش)، سوم جمادی الثانی ۱۴۳۱ (ه. ق) مصادف با «سالروز شهادت ام ابیها حضرت فاطمه زهرا سلام الله علیها»، عطر وفاداری به اسلام، انقلاب، رهبری و ولایت را بار دیگر در فضای دانشگاه پراکنده کردند.

بسمه تعالی

بی‌شک در کارها پیشرفت محقق نمی‌شود مگر با رحمت و لطف خداوند متعال، دعای خیر پدر و مادر و زحمات اطرافیان از همسر و فرزند گرفته تا اساتید، دوستان و دانشجویان. تشکر واقعی، آن وقت است که علم آموخته شده در راستای خدمت به کشور و مردم عزیز مسلمان بکارگرفته شود و از هر خیری، ثوابی شامل حال همه زحمت‌کشان این عرصه گردد. هرچند تشکر از تمام دست‌اندرکاران غیر ممکن است اما از آنجایی که «**من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق**» است، نخست از پدر و مادر مهربان و زحمت‌کشم تشکر می‌کنم که هم‌اکنون نیز زحمات بر دوش این عزیزان است، در مرحله دوم از همسر مهربان و دلسوزم کمال تشکر را دارم که مشوق و حمایت‌کننده بودند و ادامه تحصیلی صورت نمی‌گرفت مگر با حمایت ایشان. لحظات و فرصت‌ها را برای مطالعه در منزل فراهم می‌کردند و با سرگرم کردن فاطمه خانم (فرزندمان) اجازه مطالعه را از ایشان برایم می‌گرفتند. از طرفی از فاطمه خانم هم تشکر می‌کنم به خاطر نقاشی و خطاطی که بر کتاب مکانیک کوانتوم داشت، فرصت مطالعه بر اُپن آشپزخانه را در شب‌های امتحان به من می‌داد، و در روزهای پایانی، هم‌چون من، نگران محاسبات بر روی کامپیوتر می‌شد و به محض قطع شدن برق، تلفنی خبر آن را به من می‌داد و ابراز هم‌دردی می‌کرد و به این ترتیب خاطرات به یاد ماندنی این دوره را رقم زد.

استاد گرانقدری که از ادامه تحصیل اینجانب به طور ویژه استقبال کردند، تشویق به ادامه تحصیل نمودند، بر من منت گذاشتند و استاد راهنمایم شدند، دکتر محمدحسین توکلی است به‌طور ویژه از ایشان تشکر می‌کنم، و نیز به خاطر اخلاق خوب، عمل نیک، نیّت خیرخواهانه، متانت، تقوا و روحیه دانشجو پروری ایشان سپاسگذارم. تقدیر از استاد مشاورم آقای دکتر فریدون سموات را نیز لازم می‌دانم. مشورت، تدبیر اندیشی، وجدان‌کاری، سرعت عمل، دقت بالا و پیشنهادهای مطلوب ایشان، همواره راهگشای من بود. و به رسم ادب از آقایان دکتر بابک ژاله، دکتر مهدی فرشچی‌تبریزی، دکتر رئوفی و خانم دکتر زریونی اساتید درس‌های الکترودینامیک و کوانتوم پیشرفته۲، حالت‌جامد پیشرفته۱و۲، فیزیک محاسباتی۱ و کوانتوم ۱ تشکر می‌کنم.

از آقایان دکتر زمانیان ریاست دانشگاه ملایر، دکتر زلفی‌گل ریاست دانشگاه بوعلی سینا، دکتر خزایی، دکتر صابونچی، دکتر ساکی، دکتر اوحدی و سایر دوستان، همکاران و اساتیدی که از حمایت‌های معنوی و تشویق خود برای ادامه تحصیل اینجانب دریغ نکردند نیز تشکر می‌کنم. دانشجویان دوره کارشناسی ارشد نیز زحمت زیادی کشیدند که از این دانشجویان محترم خصوصاً آقایان کرباسچی و خدامرادی متشکرم. در پایان از همه کسانی که در این فرصت اندک امکان تشکر از آنها فراهم نشد و یا فراموش شدند، سپاسگذارم.

ابراهیم محمدی منش

نام خانوادگی دانشجو: محمّدی‌منش نام: ابراهیم

عنوان پایان نامه: شبیه‌سازی دو بعدی عددی جریان‌های شاره در رشد بلور Al_2O_3 از مذاب

استاد راهنما: دکتر محمّدحسین توکلی

استاد مشاور: دکتر فریدون سموات

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: فیزیک گرایش: حالت جامد

دانشگاه: بوعلی سینا دانشکده: علوم پایه تاریخ پایان تحصیلات: ۱۳۸۹ تعداد صفحه: ۱۴۴

کلید واژه ها: شبیه سازی، رشد بلور، چُکرالسکی، جریان شاره، انتقال حرارت، بلور Al_2O_3، sapphire

چکیده:

تکنیک چُکرالسکی متداول‌ترین روش برای رشد بلورهای اکسید مانند (Al_2O_3) sapphire از فاز مذاب است. در این روش، ابتدا یک بلور اولیه با شعاع کوچک در تماس با سطح آزاد مذاب قرار می‌گیرد. پس از ایجاد فصل مشترک بلور- مذاب و برقراری تعادل حرارتی در سیستم، این بلور اولیه به سمت بالا کشیده می‌شود و در نتیجه یک تک بلور در پائین آن شروع به رشد می‌کند. فرآیندهای گرمای القائی، جریان‌های شاره و انتقال حرارت نقش موثری در کیفیت بلور رشد یافته دارد. شناخت درست این فرآیندها منجر به کنترل مناسب مراحل رشد و بالا بردن کیفیت بلور می‌شود. در این پایان نامه، ابتدا یک مدل ریاضی دوبُعدی مستقل از زمان برای بررسی فرآیندهای گرما- القائی، انتقال حرارت و جریان شاره سیستم رشد چُکرالسکی شامل مذاب sapphire ساخته شده است. این مدل ریاضی شامل معادلات جریان شاره (Navier-Stokes) و انتقال حرارت (هدایت، جابجائی و تابش) به همراهی شرایط مرزی می‌باشد. پس از حل معادلات فوق به کمک روش‌های عددی (روش عناصر متناهی)، ساختار جریان‌های شاره در مذاب و گاز، میدان‌های دما در تمام قسمت‌ها و همچنین فصل مشترک بلور- مذاب در این سیستم رشد بررسی شده است.

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۱-۱ تک بلورهای اُکسید رشد داده شده به روش چُکرالسکی ۱۷

جدول ۳-۱ متغیرهای بدون بُعد برای سیستم رشد بلور چُکرالسکی ۵۳

جدول ۴-۱ پارامترهای سیستم رشد استفاده برای انجام محاسبات. ۷۴

جدول۴-۲ خواص فیزیکی نیتروژن در دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) ۷۶

جدول ۴-۳ ثابت‌های مورد نیاز ۷۶

جدول ۴-۴ خواص فیزیکی بوته، پیچه‌القائی و عایق حرارتی ۷۷

جدول ۴-۵ فرکانس و ولتاژ اعمالی برای شبیه‌سازی گرمای القایی ۷۷

جدول ۴-۶ دمای اطراف درپوش قسمت بالای بلور اولیه ۷۷

جدول۴-۶ خواص فیزیکی مذاب و بلور Al_2O_3 برای شبیه‌سازی جریان شاره ۷۸

جدول ۴-۷ گرمای کل و جریان بیشینه در شاره ۱۳۲

جدول ۴-۸ بیشینه دمای سیستم و بیشترین تغییرات دمایی در پیکربندی‌های مختلف ۱۳۳

جدول۴-۹ انحنای خطوط هم‌دما ۱۳۵

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ سیستم رشد بلور چُکرالسکی، ۵

شکل ۱-۲ دستگاه اولیه رشد بلور ساخته شده توسط چُکرالسکی، ۶

شکل ۱-۳ دستگاه رشد بلور $teal\ ,little$، ۶

شکل ۱-۴ نمای دوبعدی سیستم رشد برای بلورهای اُکسید، ۹

شکل ۱-۵ مراحل مختلف رشد بلور با استفاده از تکنیک چُکرالسکی، ۱۲

شکل۲-۱. انواع مختلف جریان‌شاره در داخل بوته در رشد بلور به روش چُکرالسکی، ۲۴

شکل ۲-۲ رفتار لَزج مواد، ۲۷

شکل ۲-۳ فرآیندهای انتقال حرارت در سیستم رشد بلور چُکرالسکی، ۳۰

شکل ۳-۱ نمایش سطح آزاد مذاب و فصل مشترک بلور- مذاب، ۵۸

شکل ۴-۱ شبکه اولیه بکار رفته برای انجام محاسبات، ۷۳

شکل ۴-۲ نمایش دو بعدی سیستم رشد بلور چُکرالسکی شبیه‌سازی شده، ۷۵

شکل ۴-۳ توزیع حجمی توان (q) در بوته برای پیکربندی۱ حالت اول، ۸۰

شکل ۴-۴ توزیع جریان شاره و میدان‌های دما برای پیکربندی۱ حالت اول، ۸۳

شکل ۴-۵ نمودار تغییرات دما در سطح آزاد مذاب برای پیکربندی۱ حالت اول، ۸۴

شکل ۴-۶ نمودار تغییرات دمای محور تقارن درون مذاب برای پیکربندی۱ حالت اول، ۸۵

شکل ۴-۷ توزیع خطوط هم‌دما و شکل سطح مشترک بلور- مذاب برای پیکربندی۱ حالت اول، ۸۷

شکل ۴-۸ نمودار تغییرات دما روی محور تقارن بلور برای پیکربندی۱ حالت اول، ۸۷

شکل ۴-۹ توزیع جریان شاره و میدان‌های دما محاسبه شده برای پیکربندی۱ حالت دوم، ۸۹

شکل ۴-۱۰ نمودار تغییرات دما روی محور تقارن بلور و درون مذاب برای پیکربندی۱ حالت دوم، ۹۰

شکل ۴-۱۱ توزیع میدان‌های دما برای دو حالت مربوط به پیکربندی۱، ۹۲

شکل ۴-۱۲ نمودار تغییرات دمای سطح آزاد مذاب برای دو حالت مربوط به پیکربندی۱، ۹۳

شکل ۴-۱۳ نمودار تغییرات دما روی محور تقارن درون مذاب برای پیکربندی۱، ۹۳

شکل ۴-۱۴ توزیع میدان‌های دما درون بلور برای دو حالت مربوط به پیکربندی۱ ۹۴

شکل ۴-۱۵ نمودار تغییرات دما روی محور تقارن بلور برای دو حالت مربوط به پیکربندی۱، ۹۴

شکل۴-۱۶ توزیع حجمی توان (q) در بوته و گرم‌کننده جانبی محاسبه شده برای پیکربندی۲، ۹۸

شکل ۴-۱۸ توزیع جریان شاره و میدان‌های دما محاسبه شده برای پیکربندی۲، ۱۰۰

شکل ۴-۱۹ نمودار تغییرات دما در سطح آزاد مذاب برای پیکربندی۲، ۱۰۲

شکل ۴-۲۰ نمودار تغییرات دمای محور تقارن درون مذاب برای پیکربندی۲، ۱۰۳

شکل ۴-۲۱ نمودار تغییرات دمای محور تقارن بلور برای پیکربندی۲، ۱۰۴

شکل ۴-۲۲ توزیع میدان‌های دما درون بلور برای پیکربندی۲، ۱۰۵

شکل ۴-۲۳ خطوط هم‌دما برای پیکربندی۱ و ۲، ۱۰۶

شکل۴-۲۴ توزیع حجمی توان (q) در بوته و گرم‌کننده جانبی محاسبه شده برای پیکربندی۳، ۱۱۰

شکل ۴-۲۵. توزیع جریان شاره و میدان‌های دما محاسبه شده برای پیکربندی۳، ۱۱۲

شکل ۴-۲۶. نمودار تغییرات دما در سطح آزاد مذاب برای پیکربندی۳، ۱۱۴

شکل ۴-۲۷ نمودار تغییرات دما روی محور تقارن بلور و مذاب، برای پیکربندی۳، ۱۱۴

شکل ۴-۲۸ توزیع میدان‌های دما درون بلور برای پیکربندی ۳ ۱۱۵

شکل۴-۲۹ توزیع حجمی توان (q) در بوته و گرم‌کننده جانبی محاسبه شده برای پیکربندی۴، ۱۱۹

شکل ۴-۳۰ توزیع جریان شاره و میدان‌های دما محاسبه شده برای پیکربندی۴، ۱۲۱

شکل ۴-۳۱ نمودار تغییرات دما روی محور تقارن درون مذاب، تغییرات دما روی محور تقارن بلور و تغییرات دما در سطح آزاد مذاب، برای پیکربندی ۴، ۱۲۲

شکل ۴-۳۲ توزیع میدان‌های دما درون بلور برای پیکربندی۴، ۱۲۳

شکل۴-۳۳ توزیع حجمی توان (q) در بوته و گرم‌کننده جانبی محاسبه شده برای پیکربندی ۵، ۱۲۶

شکل ۴- ۳۴ توزیع جریان شاره و میدان‌های دما محاسبه شده برای پیکربندی۵، ۱۲۷

شکل ۴-۳۵ نمودار تغییرات دما روی محور تقارن درون مذاب، تغییرات دما روی محور تقارن بلور و تغییرات دما در سطح آزاد مذاب برای پیکربندی ۵، ۱۲۹

شکل ۴-۳۶ توزیع میدان‌های دما درون بلور برای پیکربندی۵، ۱۳۰

شکل۴-۳۷ خطوط هم‌دما برای پیکربندی های مختلف، ۱۳۴

شکل۴-۳۸ تغییرات دما در سطح آزاد مذاب برای پیکربندی‌های مختلف، ۱۳۶

شکل۴-۳۹ تغییرات دما روی محور تقارن مذاب برای پیکربندی‌های مختلف، ۱۳۶

شکل۴-۴۰ تغییرات دما روی محور تقارن بلور برای پیکربندی‌های مختلف، ۱۳۷

شکل ۴-۴۱ توزیع دمای بلور و شکل و انحنای سطح مشترک بلور- مذاب برای پیکربندی‌های مختلف، ۱۳۸

فهرست علائم اختصاری

Gr عدد گراشف $\frac{g\,\beta T_c L_c}{U_c^2}$

Pr عدد پرانتل $\frac{\upsilon}{\alpha} = \frac{C_p \mu}{k}$

Ma عدد مارانگونی $\frac{\frac{\partial \gamma}{\partial T} T_c L_c}{\mu v}$

Re عدد رینولدز $\frac{\omega\, L_c^2}{U_c}$

Cpگرمای ویژه

σ ثابت استفان- بولتزمن

σ_{co} رسانندگی پیچه

σ_{cr} رسانندگی بوته

η ضریب لزجت

ν ضریب لزجت دینامیکی

ε گسیلندگی

ω سرعت زاویه ای چرخش بلور

P فشار

ρ چگالی

T دما

Tc دمای ذوب (دمای مشخصه)

Lc طول مشخصه

Uc سرعت مشخصه

u,v,w سرعت چرخش

r_{cr} شعاع بوته

s_{cr} ضخامت بوته

h_{cr} ارتفاع داخلی بوته

h_{af} ارتفاع داخلی گرم کننده جانبی

r_{af} شعاع درپوش گرم کننده جانبی

D_{ca} فاصله بوته و گرم کننده جانبی

r_{co} شعاع داخلی پیچه القائی

s_{co} ضخامت پیچه القائی

L_{co} طول سطح مقطع پیچه

h_{co} ارتفاع سطح مقطع پیچه

d_{co} فاصله پیچه‌ها

D_{co} فاصله پیچه پایین و بالا

H_{ci} ضخامت کف عایق

D_{ci} ضخامت دیواره عایق اطراف بوته

D_{ai} ضخامت عایق اطراف گرم‌کننده جانبی فعال

r_s شعاع بذر

فهرست مطالب

عنوان صفحه

مقدمه ۱

فصل اول: رشد بلور از مذاب

۱-۱ مقدمه ۴

۱-۲ تاریخچه رشد بلور به روش چُکرالسکی ۵

۱-۳ نحوه رشد بلور در سیستم چُکرالسکی ۸

۱-۴ رشد بلورهای اکسید به روش چُکرالسکی ۱۵

۱- ۵ بلور اُکسید آلومینیوم (*sapphire*) با فرمول شیمیایی Al_2O_3 ..... ۱۸

۱-۶ هیدرودینامیک فیزیکی – شیمیایی تِکنیک چُکرالسکی ۱۹

۱-۷ ضرورت شبیه‌سازی سیستم رشد بلور چُکرالسکی ۲۰

فصل دوم: جریان شاره و انتقال حرارت

۲-۱ جریان سیّال. ۲۳

۲-۲ انتقال حرارت. ۲۸

۲-۲-۱ انتقال حرارت هدایتی. ۲۹

۲-۲-۲ انتقال حرارت جابجایی. ۳۱

۲-۲-۳ انتقال حرارت تابشی (تشعشع) ۳۱

۲-۳ مفاهیم جریان سیّال ۳۳

۲-۳-۱ انواع مختلف جریان شاره ۳۴

۲-۴ قوانین بقاء و معادلات حاکم ۳۴

۲-۴-۱بقای جرم (پیوستگی) ۳۵

۲-۴-۲ بقای اندازه حرکت ۳۷

۲-۴-۲-۱ معادلات ناویر- اِستوکس برای سیّال نیوتنی. ۳۸

۲-۴-۲-۲ مفاهیم فیزیکی رابطه‌های موجود در معادله ناویر اِستوکس. ۴۰

۲-۴-۳ بقای انرژی (قانون اول ترمودینامیک) ۴۱

۲-۴-۳-۱ مفاهیم فیزیکی روابط معادله انرژی ۴۲

فصل سوم: مدل ریاضی

۳-۱ مقدمه ۴۶

۳-۲ مُدل ریاضی ۴۷

۳-۲-۱ مدل ریاضی گرمای القائی در سیستم رشد چُکرالسکی ۴۷

۳-۲-۲ مدل ریاضی انتقال حرارت و جریان شاره در سیستم رشد چُکرالسکی ۵۰

۳-۳ بدون بعد کردن معادلات حاکم بر سیستم رشد و مزایای آن ۵۲

۳-۳-۱ اصول بدون بعد سازی ۵۲

۳-۴ ساده‌سازی معادلات حاکم بر سیستم رشد بلور و شرایط مرزی ۵۶

۳-۴-۱ ساده سازی معادلات ۵۷
۳-۴-۲ شرایط مرزی هیدرودینامیکی ۵۸
۳-۴-۲-۱ فصل مشترک مذاب- گاز ۵۸
۳-۴-۲-۲ فصل مشترک بلور-مذاب ۵۹
۳-۴-۳ شرایط مرزی حرارتی ۶۳
۳-۴-۳-۱ شرط مرزی در سطوح خارجی عایق حرارتی. ۶۴
۳-۴-۳-۲ شرط مرزی در سطح مشترک بلور- مذاب ۶۴
۳-۴-۳-۳ شرط مرزی در سطوح داخلی پس گرماده (تشعشع سطح به سطح). ۶۴
۳-۴-۳-۴ شرط مرزی در سطوح داخلی بلور در حال رشد (تشعشع داخلی). ۶۵
۳-۵ مفاهیم فیزیکی اعداد بدون بعد ۶۵
۳-۵-۱ عدد گراشف ۶۶
۳-۵-۲ عدد پرانتل ۶۶
۳-۵-۳ عدد رینولدز ۶۷
۳-۵-۴ عدد مارانگونی ۶۷

فصل ٤: محاسبات، نتایج و بحث

۴-۱ مقدمه ۶۹

۴-۱-۱ پیکربندی‌های مختلف مورد مطالعه برای سیستم رشد ۷۰

۴-۱-۲ روش عددی ۷۲

۴-۲ شرایط محاسبات برای پیکربندی‌های مختلف ۷۴

۴-۳ نتایج و بحث ۷۸

۴-۳-۱ پیکربندی۱، سیستم شامل فقط بوته و بدون حضور گرم‌کننده جانبی فعال ۷۹

۴-۳-۱-۱ حالت اول: ضخامت عایق حرارتی در اطراف ناحیه گاز نازک ۷۹

۴-۳-۱-۱-۱ گرمای القائی ۷۹

۴-۳-۱-۱-۲ میدان‌های دما و جریان شاره ۸۱

۴-۳-۱-۲ حالت دوم: ضخامت عایق حرارتی در اطراف ناحیه گاز نازک ۸۸

۴-۳-۱-۲-۱ میدان های دما و جریان شاره ۸۸

نتیجه گیری ۹۶

۴-۳-۲ پیکربندی۲، سیستم شامل بوته و گرم‌کننده جانبی فعال بدون فاصله و با درپوش ۹۷

۴-۳-۲-۱ گرمای القائی ۹۷

۴-۳-۲-۲ میدان‌های دما و جریان شاره ۹۸

نتیجه گیری ۱۰۸

۴-۳-۳ پیکربندی۳، سیستم شامل بوته و گرم‌کننده جانبی فعال با فاصله و درپوش. ۱۰۹

۴-۳-۳-۱ گرمای القائی. ۱۰۹

۴-۳-۳-۲ میدان‌های دما و جریان شاره ۱۱۰

نتیجه گیری ۱۱۷

۴-۳-۴ پیکربندی۴، سیستم شامل بوته و گرم‌کننده جانبی فعال بدون فاصله و درپوش ۱۱۸

۴-۳-۴-۱ گرمای القائی ۱۱۸

۴-۳-۴-۲ میدان‌های دما و جریان شاره ۱۱۹

نتیجه گیری ۱۲۴

۴-۳-۵ پیکربندی ۵، سیستم شامل بوته و گرم‌کننده جانبی فعال با درپوش مخروطی ۱۲۵

۴-۳-۳-۱ گرمای القائی ۱۲۵

۴-۳-۳-۲ میدان‌های دما و جریان شاره ۱۲۶

۴-۴ جریان شاره و میدان‌های دما در مقایسه پیکربندی مختلف با یکدیگر ۱۳۲

نتیجه گیری ۱۴۰

واژه‌نامه ۱۴۱

مراجع ۱۴۳

چکیده انگلیسی

مقدمه

تکنیک چُکرالسکی متداول‌ترین روش، برای رشد بلورهای اکسید مانند $sapphire\ (Al_2O_3)$ از فاز مذاب است. در این روش، ابتدا یک بلور اولیه با شعاع کوچک در تماس با سطح آزاد مذاب قرار می‌گیرد. پس از ایجاد فصل مشترک بلور- مذاب و برقراری تعادل حرارتی در سیستم، این بلور اولیه به سمت بالا کشیده می‌شود و در نتیجه یک تک بلور در پائین آن شروع به رشد می‌کند. فرآیندهای گرمای‌القائی، جریان‌های شاره و انتقال حرارت نقش موثری در کیفیت بلور رشد یافته دارند. شناخت درست این فرآیندها منجر به کنترل مناسب مراحل رشد و بالا بردن کیفیت بلور می‌شوند. با استفاده از این روش صدها نوع تک بلور نیمه‌هادی و اکسید رشد داده شده است. در سال‌های اخیر تکنولوژی رشد بلور با بهره‌گیری از تکنیک چُکرالسکی پیشرفت زیادی کرده‌است. تاکنون با استفاده از این روش تک بلورهای نیمه‌رسانا با قطر ۳۰۰ میلی‌متر و اکسید با قطر بین ۱۲۵ تا ۱۵۰ میلی‌متر رشد داده شده اند.

در این پایان نامه، ابتدا یک مدل ریاضی دوبُعدی مستقل از زمان برای بررسی فرآیندهای گرما- القائی، انتقال حرارت و جریان شاره سیستم رشد چُکرالسکی شامل مذاب sapphire ساخته شده است. این مدل ریاضی شامل معادلات جریان شاره (Navier-Stokes) و انتقال حرارت (هدایت، جابجائی و تابش) به همراهی شرایط مرزی می‌باشد. پس از حل معادلات فوق به کمک روش‌های عددی (روش عناصر متناهی)، ساختار جریان‌های شاره در مذاب و گاز، میدان‌های دما در تمام قسمت‌ها و همچنین فصل مشترک بلور- مذاب در این سیستم رشد بررسی شده است.

برای رشد بلورهای اُکسید با استفاده از تکنیک چُکرالسکی، معمولاً از یک گرم‌کننده جانبی فعال استفاده می‌شود. استفاده از گرم‌کننده یک روش مفید و موثر جهت کنترل مطلوب فرایندهای گرمای القائی، جریان شاره و انتقال گرما، و همچنین فصل مشترک بلور- مذاب می‌باشد. در این پایان‌نامه سیستم واقعی رشد برای بلور