

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۱۲۷۷.۱



دانشگاه شهید بهشتی

دانشکده علوم-گروه فیزیک

رساله ارائه شده جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد فیزیک

(گرایش اتمی و مولکولی)

شبیه سازی و ساخت میکروسکوپ هم کانونی نورسفید به منظور برجسته نگاری
سطح و اندازه گیری ضخامت فیلم اپتیکی نازک در ابعاد میکرون و زیر میکرون

دانشجو:

ابراهیم بحرودی

استاد راهنما:

دکتر حمید لطیفی

شهریور ۱۳۸۸

۱۳۱۷۰۱

انستیتو فناوری اطلاعات

۱۳۸۸/۱۲/۲



دانشگاه شهید بهشتی

بسمه تعالی

« صور تجلسه دفاع پایان نامه دانشجویان دوره کارشناسی ارشد »

تهران ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳ اوین

فون: ۲۹۹۰۱

بازگشت به مجوز دفاع شماره ۹۵۰۴/۲۰۰/د مورخ ۸۸/۶/۱۸ جلسه هیأت
داوران ارزیابی پایان نامه آقای ابراهیم بحرودی به شماره شناسنامه ۱۱۸۱ صادره از
کرج متولد ۱۳۶۲ دانشجوی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته رشته فیزیک -
با عنوان :

شبیه سازی و ساخت میکروسکوپ هم کانونی نور سفید به منظور برجسته نگاری
سطح و اندازه گیری ضخامت فیلم اپتیکی نازک در ابعاد میکرون و زیر میکرون

به راهنمایی:

آقای دکتر حمید لطیفی

طبق دعوت قبلی در تاریخ ۸۸/۶/۲۵ تشکیل گردید و براساس رأی هیأت
داوری و با عنایت به ماده ۲۰ آئین نامه کارشناسی ارشد مورخ ۷۵/۱۰/۲۵ پایان
نامه مزبور با نمره ۱۹٫۵ درجه ~~خلاف~~ مورد تصویب قرار گرفت.

۱- استاد راهنما : آقای دکتر حمید لطیفی

۲- استاد داور: آقای دکتر عزالدین مهاجرانی

۳- استاد داور و نماینده تحصیلات تکمیلی: آقای دکتر محمد مهدی طهرانچی

۴- معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده: خانم دکتر زهره حبیبی کرهرودی

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

تقدیر و تشکر:

در اینجا لازم می دانم از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر حمید لطیفی کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. بی شک راهنمایی ها و فراهم نمودن امکانات توسط ایشان باعث به ثمر نشستن این پروژه گردید. همچنین لازم می دانم از جناب آقای دکتر مهاجرانی بابت مشورت و اجازه استفاده از امکانات آزمایشگاه توسط ایشان، از ایشان تشکر بنمایم. در پایان از دوست گرامی آقای علی موسویان که در انجام این پروژه به من کمک نمودند تشکر می کنم.

چکیده:

هدف از این پایان نامه طراحی و ساخت میکروسکوپ هم کانونی نور سفید در مقیاس آزمایشگاهی می باشد. اساس کار میکروسکوپ هم کانونی نور سفید بر پایه ابیراهی رنگی طولی استوار است. برای آنالیز اپتیکی سیستم، آشنایی با چگونگی عملکرد میکروسکوپ و چگونگی ایجاد ابیراهی رنگی طولی مورد نیاز ابتدا سیستم را شبیه سازی کردیم. شبیه سازی را به کمک نرم افزار طراحی اپتیکی "Zemax" انجام دادیم. با توجه به نتایج حاصل از شبیه سازی، ابیراهی رنگی طولی مورد نیاز را توسط دو عدسی محدب با فواصل کانونی 30mm و 40mm که دارای ابیراهی رنگی طولی ذاتی بودند بدست آوردیم. همچنین قدرت تفکیک عرضی مورد نیاز به کمک عدسی شیء میکروسکوپ با بزرگ نمایی 40 برابر تامین شد. از طیف لامپ زنون 300 وات نیز به عنوان طیف منبع نور سفید در شبیه سازی استفاده کردیم. در ادامه چیدمان آزمایشگاهی میکروسکوپ هم کانونی نور سفید را بر اساس نتایج حاصل از شبیه سازی انجام دادیم و با هم مقایسه کردیم.

دو کاربرد اصلی میکروسکوپ هم کانونی نور سفید بدست آوردن پروفایل سطح و اندازه گیری ضخامت یک فیلم اپتیکی شفاف یا لایه های زیستی در ابعاد میکرون یا زیر میکرون می باشد. در این پایان نامه برای بدست آوردن پروفایل سطح برای اولین بار به جای استفاده از دستگاه طیف سنج در چیدمان دستگاه از CCD و تکنیک پردازش تصویر استفاده کردیم. در حالت استفاده از CCD برای یک شیوه از پیکر بندی دستگاه به قدرت تفکیک طولی 970nm و عمق موثر اسکن $76\mu\text{m}$ رسیدیم، در حالت استفاده از دستگاه طیف سنج نیز قدرت تفکیک طولی 159nm و عمق موثر اسکن $95\mu\text{m}$ بدست آمد. البته پیکر بندی دستگاه به گونه ای است که با توجه به ابعاد نمونه مورد مطالعه بتوان قدرت تفکیک طولی، قدرت تفکیک عرضی و عمق موثر اسکن را بهینه نمود و از بیشترین دقت دستگاه در اندازه گیری استفاده کرد. بیشترین قدرت تفکیک عرضی و طولی که توسط این میکروسکوپ به آن رسیدیم به ترتیب برابر با 380nm و 48nm بود.

در ادامه ضخامت یک لایه یا فیلم اپتیکی نازک را به کمک چیدمان اندازه گیری کردیم. اعتبار این روش هم در شبیه سازی و هم در آزمایش تست شد.

کلید واژه: توپوگرافی سطح- برجسته نگاری سطح- ضخامت سنجی- میکروسکوپ هم کانونی نور سفید- ابیراهی رنگی- پردازش تصویر - طیف سنجی- شبیه سازی و ساخت

فهرست اشکال :

فصل دوم:

- شکل ۱.۲: نحوه برش یک بافت به صورت عرضی.
- شکل ۲.۲: مقایسه تصویر حاصل از میکروسکوپ اپتیکی با میکروسکوپ هم کانونی.
- شکل ۳.۲: مقطع برداری اپتیکی.
- شکل ۴.۲: مقطع برداری اپتیکی یک دانه گرده.
- شکل ۵.۲: بر جسته نگاری سطح عدسی پراشی فرنل.
- شکل ۶.۲: بر جسته نگاری سطح یک میکرو عدسی.
- شکل ۷.۲: بر جسته نگاری سطح یک سنسور فشار Mems.
- شکل ۸.۲: بر جسته نگاری سطح انبرک هارد دیسک.
- شکل ۹.۲: شماتیک میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی.
- شکل ۱۰.۲: قسمت های تشکیل دهنده میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی.
- شکل ۱۱.۲: نحوه انحراف پرتو به کمک آینه.
- شکل ۱۲.۲: روش اسکن اپتیکی توسط آینه های چرخان.
- شکل ۱۳.۲: روش اسکن اپتیکی توسط Nipkow disk.
- شکل ۱۴.۲: نمونه ای از Nipkow disk.
- شکل ۱۵.۲: گشودگی عددی مربوط به چند عدسی شیء میکروسکوپ.
- شکل ۱۶.۲: توزیع شدت الگوی دیسک ایری $NA_d = 0.5$ ، $\lambda_d = 0.5 \mu m$
- شکل ۱۷.۲: معیار ریلی.
- شکل ۱۸.۲: نمودار PSF عرضی مربوط به میکروسکوپ رایج و میکروسکوپ هم کانونی.
- شکل ۱۹-۲: نحوه محاسبه قدرت تفکیک طولی.

فصل سوم:

- شکل ۱.۳: ابیراهی رنگی طولی.
- شکل ۲.۳: عدد آبه مربوط به شیشه های ساخته شده توسط شرکت شات.
- شکل ۳.۳: طیف.
- شکل ۴.۳: طیف.
- شکل ۵.۳: طیف.

شکل ۶.۳: عملکرد میکروسکوپ هم کانونی نور سفید.

شکل ۷.۳: عملکرد میکروسکوپ هم کانونی نور سفید.

فصل چهارم:

شکل ۱.۴: نمای سه بعدی عدسی شیء میکروسکوپ با بزرگ نمایی ۴۰ برابر.

شکل ۲.۴: نمودار ابیراهی رنگی طولی یا شیفت فاصله کانونی بر حسب طول موج مربوط عدسی شیء میکروسکوپ با بزرگ نمایی ۴۰ برابر در بازه طول موجی ۴۲۰ تا ۶۳۰ نانومتر را نشان می دهد. در این شیفت، فاصله کانونی مربوط به طول موج ۴۲۰ نانومتر به عنوان مبدا اندازه گیری در نظر گرفته شده است. ابیراهی رنگی طولی ایجاد شده در این عدسی شیء برابر با ۷.۹ میکرو متر می باشد.

شکل ۳.۴: تغییر فاصله کانونی بر حسب واگرایی یا همگرایی پرتو ورودی.

شکل ۴.۴: روش ایجاد واگرایی و همگرایی وابسته به طول موج.

شکل ۵.۴: نمای سه بعدی عدسی محدب با فاصله کانونی ۳۰ mm.

شکل ۶.۴: نمای سه بعدی عدسی محدب با فاصله کانونی ۴۰ mm.

شکل ۷.۴: نمودار ابیراهی رنگی طولی یا شیفت فاصله کانونی بر حسب طول موج مربوط این دو عدسی در بازه طول موجی ۴۲۰ تا ۶۳۰ نانومتر را نشان می دهد. در این شیفت، فاصله کانونی مربوط به طول موج ۴۲۰ نانومتر به عنوان مبدا اندازه گیری در نظر گرفته شده است.

شکل ۸.۴: نمای سه بعدی چیدمان برای ایجاد ابیراهی رنگی طولی.

شکل ۹.۴: نمودار ابیراهی رنگی طولی ایجاد شده در مقابل عدسی شیء میکروسکوپ.

شکل ۱۰.۴: چیدمان شبیه سازی شده با نرم افزار Zemax.

شکل ۱۱.۴: نمای سه بعدی عدسی شیء میکروسکوپ با بزرگ نمایی ۱۰ برابر.

شکل ۱۲.۴: نمای سه بعدی عدسی شیء میکروسکوپ با بزرگ نمایی ۲۰ برابر.

شکل ۱۳.۴: لامپ زنون ۳۰۰ وات.

شکل ۱۴.۴: طیف لامپ زنون ۳۰۰ وات.

شکل ۱۵.۴: نحوه قرار گیری لامپ زنون در چیدمان.

شکل ۱۶.۴: چیدمان شبیه سازی و واقعی اپتیکی هدایت پرتو به سمت نمونه مورد مطالعه.

شکل ۱۷.۴: چیدمان شبیه سازی و واقعی سیستم اپتیکی مربوط به هدایت پرتو به سمت حسگر نوری.

شکل ۱۸.۴: روزنه $5\mu\text{m}$ مورد استفاده در آزمایش.

شکل ۱۹.۴: عدسی های شیء میکروسکوپ مورد استفاده در آزمایش.

شکل ۲۰.۴: دستگاه طیف سنج usb 2000.

شکل ۲۱.۴: طیف خروجی از روزنه بعد از نرمالایز کردن برای سه موقعیت متفاوت آینه نسبت به OL1.

- شکل ۲۲.۴: نمودار کالیبراسیون.
- شکل ۲۳.۴: CCD مورد استفاده در آزمایش.
- شکل ۲۴.۴: رابطه بین H و رنگ مربوطه.
- شکل ۲۵.۴: نمونه تصویر و نمودار فراوانی طیفی پیکسل های مربوط به تصویر.
- شکل ۲۶.۴: نمودار کالیبراسیون به همراه نمودار فیتینگ.
- شکل ۲۷.۴: تست تکرار پذیری. نمودار بالایی پرفایل سطح و نمودار پائینی ΔS (Smax-Smin) برای پنج بار اسکن می باشد.
- شکل ۲۸.۴: XYZ الکترونیکی.
- شکل ۲۹.۴: چیدمان نهایی میکروسکوپ هم کانونی نور سفید.
- شکل ۳۰.۴: برجسته نگاری حرف "B" مربوط به سکه مالزیایی.
- شکل ۳۱.۴: برجسته نگاری حرف "2" مربوط به سکه مالزیایی.
- شکل ۳۲.۴: برجسته نگاری توری پراش یک بعدی از نوع بازتابی ساخته شده در آزمایشگاه.
- شکل ۳۳.۴: برجسته نگاری توری پراش دو بعدی متقارن از نوع بازتابی ساخته شده در آزمایشگاه.
- شکل ۳۴.۴: برجسته نگاری توری پراش دو بعدی نامتقارن از نوع بازتابی ساخته شده در آزمایشگاه.
- شکل ۳۵.۴: برجسته نگاری قسمتی از یک میکرو رینگ ساخته شده در آزمایشگاه.
- شکل ۳۶.۴: برجسته نگاری طرح گل مربوط به سکه ۵۰۰ ریالی.
- شکل ۳۷.۴: برجسته نگاری طرح گل مربوط به سکه ۵۰۰ ریالی.
- شکل ۳۸.۴: نویز (نمودار شیفیت طول موج بر حسب زمان) حاصل از ارتعاشات محیط.
- شکل ۳۹.۴: نمودار فراوانی شیفیت طول موجی.

فصل پنجم:

- شکل ۱.۵: چهار حالت ممکن که باعث بازگشت طول موج λ با بیشترین مقدار شدت از روزنه و ایجاد پیک در طیف می شود.
- شکل ۲.۵: پرتو با طول موج λ پس از عبور از لایه و ایجاد عمق ظاهری.
- شکل ۳.۵: نمای سه بعدی چشمی ارفله.
- شکل ۴.۵: عملکرد توری پراش.
- شکل ۵.۵: مکانیزم طیف سنج شبیه سازی شده.
- شکل ۶.۵: نمودار کالیبراسیون طیف سنج شبیه سازی شده.
- شکل ۷.۵: چیدمان نهایی شبیه سازی شده.
- شکل ۸.۵: نمودار گشودگی عددی عدسی شی میکروسکوپ بر حسب طول موج.
- شکل ۹.۵: نمودار کالیبراسیون میکروسکوپ با آینه.
- شکل ۱۰.۵: طیف بدست آمده از شبیه سازی برای لایه $30 \mu\text{m}$.

شکل ۱۱.۵: نمودار کالیبراسیون میکروسکوپ با آینه

شکل ۱۲.۵: طیف بدست آمده از لایه مورد آزمایش.

فصل ششم:

شکل ۱.۶: از سمت چپ نمودار مشخصات ابیراهی رنگی طولی ایجاد شده در مقابل عدسی شی میکروسکوپ وقتی که فواصل بین دو عدسی محدب (d) به ترتیب ۷.۴cm ، ۷.۳cm ، ۷.۲cm و ۷.۱cm می باشد.

شکل ۲.۶: از سمت چپ نمودار مشخصات ابیراهی رنگی طولی ایجاد شده در مقابل عدسی شی میکروسکوپ وقتی که فواصل بین دو عدسی محدب (d) به ترتیب ۷cm ، ۶.۹cm ، ۶.۸cm و ۶.۷cm می باشد.

شکل ۳.۶: از سمت چپ نمودار مشخصات ابیراهی رنگی طولی ایجاد شده در مقابل عدسی شی میکروسکوپ وقتی که فواصل بین دو عدسی محدب (d) به ترتیب ۶.۶cm ، ۶.۵cm ، ۶.۴cm و ۶.۳cm می باشد.

شکل ۴.۶: از سمت چپ نمودار مشخصات ابیراهی رنگی طولی ایجاد شده در مقابل عدسی شی میکروسکوپ وقتی که فواصل بین دو عدسی محدب (d) به ترتیب ۶.۲cm ، ۶.۱cm ، ۶cm و ۵.۹cm و ۵.۸cm می باشد.

شکل ۵.۶: نمودار بازه طولی ابیراهی رنگی طولی یا عمق موثر اسکن در بازه طول موجی ۴۸۰nm تا ۶۵۰nm بر حسب فاصله بین دو عدسی محدب موجود در چیدمان

شکل ۶.۶: شیفیت فاصله کانونی مربوط به طول موج ۵۵۰nm بر حسب تغییر فاصله بین دو عدسی محدب موجود در چیدمان

شکل ۷.۶: نمودار گشودگی عددی مربوط به عدسی شی میکروسکوپ بر حسب طول موج برای حالتی که فاصله بین دو عدسی محدب ۷.۴cm می باشد.

شکل ۸.۶: نمودار گشودگی عددی مربوط به عدسی شی میکروسکوپ بر حسب طول موج برای حالتی که فاصله بین دو عدسی محدب ۵.۸cm می باشد.

فهرست:

فصل اول : پیشگفتار	۱
فصل دوم : میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی	۴
۱.۲ : مقدمه	۵
۲.۲ : تاریخچه میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی (LSCM)	۶
۳.۲ : مزیت میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی نسبت به میکروسکوپ های رایج و کاربرد های آن	۶
۴.۲ : عملکرد میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی	۹
۵.۲ : اجزاء تشکیل دهنده میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی	۱۱
۱.۵.۲ : منبع نوری	۱۲
۲.۵.۲ : سیستم اپتیکی	۱۲
۳.۵.۲ : واحد اسکن کننده	۱۳
۴.۵.۲ : روزنه میکرونی	۱۵
۵.۵.۲ : حسگر نوری	۱۵
۶.۵.۲ : واحد کنترل و آنالیز	۱۶
۶.۲ : قدرت تفکیک	۱۶
۱.۶.۲ : قدرت تفکیک در میکروسکوپ های اپتیکی رایج	۱۷
۱- قدرت تفکیک عرضی	۱۷
۲- قدرت تفکیک محوری	۱۸
۲.۶.۲ : قدرت تفکیک در میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی	۱۹
۱- قدرت تفکیک عرضی	۱۹
۲- قدرت تفکیک محوری	۲۰
۷.۲ : انتخاب بهینه روزنه در میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی	۲۲
فصل سوم : میکروسکوپ هم کانونی نور سفید	۲۴
۱.۳ : مقدمه	۲۵
۲.۳ : منشاء ابیراهی رنگی	۲۶
۳.۳ : منبع نور در میکروسکوپ هم کانونی نور سفید	۲۸

۳۰	..... عملکرد میکروسکوپ هم کانونی نور سفید (WLCM)
۳۲	..... تفاوت میکروسکوپ هم کانونی نور سفید نسبت به میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی
۳۲	..... قدرت تفکیک
۳۲	..... ۱.۶.۳: قدرت تفکیک جانبی (عرضی)
۳۲	..... ۲.۶.۳: قدرت تفکیک محوری (طولی)
فصل چهارم : شبیه سازی و انجام چیدمان میکروسکوپ هم کانونی نور سفید به منظور برجسته نگاری سطح به	
۳۴	..... روش پردازش تصویر
۳۵	..... ۱.۴: مقدمه
۳۶	..... ۲.۴: شبیه سازی
۴۲	..... ۳.۴: آزمایش
۴۶	..... ۱.۳.۴: طیف سنجی
۴۹	..... ۲.۳.۴: استفاده از CCD و پردازش تصویر
۵۱	..... ۳.۳.۴: تست تکرارپذیری
۵۱	..... ۴.۳.۴: برجسته نگاری سطح
۵۷	..... ۴.۴: تاثیر ارتعاشات محیطی بر دقت اندازه گیری
فصل پنجم : شبیه سازی و انجام چیدمان میکروسکوپ هم کانونی نور سفید به منظور اندازه گیری ضخامت لایه و	
۵۹	..... ضریب شکست
۶۰	..... ۱.۵: مقدمه
۶۱	..... ۲.۵: فیزیک مسئله
۶۴	..... ۳.۵: شبیه سازی
۶۹	..... ۴.۵: آزمایش
فصل ششم : بهینه سازی پارامترهای اپتیکی میکروسکوپ هم کانونی نور سفید به کمک ابیراهی رنگی طولی قابل	
۷۱	..... تنظیم
۷۲	..... ۱.۶: مقدمه
۷۳	..... ۲.۶: ایجاد ابیراهی رنگی طولی قابل تنظیم
۷۳	..... ۳.۶: آزمایش

جمع بندی ۸۱

مراجع ۸۳

چکیده لاتین ۸۵

فصل اول :

پیشگفتار

پیشگفتار:

میکروسکوپ های هم کانونی، سیستم های میکروسکوپی اپتیکی هستند که در زیست شناسی و مهندسی کاربرد وسیعی دارند. از کاربرد این میکروسکوپ ها در زیست شناسی می توان به تجسم نگاری سه بعدی¹ و تصویر برداری از عمق یک بافت زنده اشاره کرد. به گونه ای که به بافت مورد مطالعه هیچ صدمه ای وارد نشود.[1]

از کاربرد این میکروسکوپ در مهندسی نیز می توان به عکس برداری سه بعدی یا بدست آوردن پروفایل سطوح کوچک در ابعاد میکرون و زیر میکرون مانند مدارات مجتمع الکترونیکی،² Mems،³ Moems، بایوسنسورها، کاربرد در نانو تکنولوژی و یا اندازه گیری ضخامت یا ضریب شکست فیلم (لایه شفاف) نازک اشاره کرد.[3-1]

طراحی و ساخت این سیستم های میکروسکوپی جزو تکنولوژی های پیشرفته⁴ محسوب شده و منحصر به چند شرکت بزرگ و معروف مثل Olympus و Zeiss می باشد. یک نوع خاص از میکروسکوپ های هم کانونی، میکروسکوپ هم کانونی نور سفید می باشد که از نظر تکنولوژی جدید تر بوده و دارای قدرت تفکیک بیشتر و سرعت عمل با لاتری می باشد.

میکروسکوپ هم کانونی نور سفید در سالهای اخیر مورد توجه پژوهشگران بوده و تحقیقات در این زمینه همچنان ادامه دارد. البته این تحقیقات همچنان در مقیاس آزمایشگاهی می باشد. در مبحث مربوط به جمع بندی، برای مقایسه به دو نمونه از نتایج حاصل از این تحقیقات اشاره شده است.

به نظر می آید تا کنون در ایران هیچ گونه تحقیقی در مورد طراحی و ساخت این گونه از میکروسکوپ ها انجام نشده است. بدین منظور بر آن شدیم تا یک نمونه میکروسکوپ هم کانونی نور سفید را طراحی و در مقیاس آزمایشگاهی تست بنماییم. در این پایان نامه ابتدا چیدمان سیستم میکروسکوپ هم کانونی نور سفید را توسط نرم افزار طراحی اپتیکی "Zemax" شبیه سازی و از نظر اپتیکی آنالیز کردیم. سپس چیدمان آزمایش را بر اساس چیدمان موجود در شبیه سازی انجام دادیم. و در ادامه نتایج حاصل از آزمایش را با نتایج حاصل از شبیه سازی مقایسه کردیم. و در نهایت به دو نمونه از کاربردهای این میکروسکوپ یعنی برجسته نگاری سطح و اندازه گیری ضخامت یک لایه نازک و شفاف هم از طریق شبیه سازی و هم از طریق آزمایش پرداختیم.

در میکروسکوپ هم کانونی نور سفید برای آنالیز طیف رایج است که از دستگاه طیف سنج استفاده شود. اما در این پروژه برای اولین بار به جای طیف سنج از CCD و تکنیک پردازش تصویر استفاده کردیم تا اعتبار و دقت این روش هم تست شود. زیرا این روش از نظر اقتصادی مقرون به صرفه تر است. در ادامه به کمک این روش پروفایل سطح مربوط به چند نمونه را بدست آوردیم.

¹ Topography

² Micro-Electro-Mechanical Systems

³ Micro-opto-Electr- Mechanical Systems

⁴ High tech

این پایان نامه مشتمل بر شش فصل می باشد که در ادامه به مباحث مربوط به این فصل ها می پردازیم.

در فصل دوم و سوم به ترتیب به تئوری میکروسکوپ هم کانونی و میکروسکوپ هم کانونی نور سفید پرداخته می شود. در

فصل چهارم، پنجم و ششم هم به نتایج حاصل از شبیه سازی و نتایج تجربی بدست آمده می پردازیم.

در فصل دوم مقدمه ای در مورد میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی ارائه می شود. در این فصل ابتدا به تاریخچه این

میکروسکوپ پرداخته می شود سپس در مورد مزایای آن نسبت به میکروسکوپ های رایج، عملکرد میکروسکوپ، قدرت

تفکیک و اجزاء تشکیل دهنده میکروسکوپ هم کانونی بحث می شود.

فصل سوم هم مقدمه ای در مورد میکروسکوپ هم کانونی نور سفید می باشد. در سیستم اپتیکی این نوع میکروسکوپ وجود

ابیراهی رنگی نقش مهمی را ایفا می کند. در این فصل ابتدا منشاء وجودی ابیراهی رنگی در یک سیستم اپتیکی را معرفی

کرده و به روشهای تولید منبع نوری مورد نیاز در میکروسکوپ هم کانونی نور سفید اشاره می کنیم سپس به عملکرد سیستم

میکروسکوپ هم کانونی نور سفید می پردازیم. در ادامه مزایای میکروسکوپ هم کانونی نور سفید نسبت به میکروسکوپ روبشی

لیزری هم کانونی و قدرت تفکیک را بیان می کنیم.

فصل چهارم به کاربرد میکروسکوپ هم کانونی نور سفید در بدست آوردن پروفایل سطوح بسیار ریز اشاره دارد. در این فصل

ابتدا میکروسکوپ هم کانونی نور سفید را توسط نرم افزار Zemax شبیه سازی می کنیم و پس از شبیه سازی چیدمان آزمایش

را با توجه به شبیه سازی انجام می دهیم. نتایج حاصل از آزمایش و شبیه سازی را با هم مقایسه کرده و در نهایت به کمک

CCD و تکنیک پردازش تصویر، برجسته نگاری مربوط به چند سطح که از طریق این روش بدست آمده است را ارائه می کنیم.

فصل پنجم به کاربرد میکروسکوپ هم کانونی نور سفید در اندازه گیری ضخامت یک فیلم اپتیکی (لایه شفاف) نازک و یا اندازه

گیری ضریب شکست ماده تشکیل دهنده این لایه اشاره دارد. در این فصل ابتدا در مورد چگونه گی انجام این تکنیک بحث

می شود، سپس به کمک نرم افزار Zemax چیدمان آزمایش شبیه سازی شده و در نهایت چیدمان واقعی انجام می شود و در

ادامه ضخامت چند لایه نازک اندازه گیری شد.

ایجاد ابیراهی رنگی طولی در سیستم اپتیکی میکروسکوپ هم کانونی نور سفید از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در فصل

ششم به چگونگی ایجاد ابیراهی رنگی طولی قابل تنظیم و مشخصات فیزیکی آنها می پردازیم. در صورت ایجاد چنین قابلیت

در میکروسکوپ هم کانونی نور سفید، می توان قدرت تفکیک اپتیکی میکروسکوپ را با توجه به ابعاد نمونه مورد مطالعه تنظیم

کرده و از بیشترین قدرت تفکیک ممکن برای اندازه گیری استفاده کرد.

در بخش آخر پایان نامه هم یک جمع بندی کلی از کارهای انجام شده و نتایج بدست آمده ارائه می کنیم.

فصل دوم :

میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی

۱.۲: مقدمه

میکروسکوپ اپتیکی که اغلب به اسم میکروسکوپ نوری شناخته می شود، قدیمی ترین، ساده ترین و رایج ترین نوع میکروسکوپی است که برای دیدن نمونه های ریز از آن استفاده می شود. عملکرد این میکروسکوپ ها به گونه ای است که قادر به دیدن و تفکیک عمق نیستند در نتیجه نمی توان توسط آنها تجسم سه بعدی^۱ از نمونه مورد مطالعه بدست آورد. بنا به دلایلی که بعداً به آن اشاره خواهد شد تصاویر بدست آمده وضوح^۲ لازم را ندارند. در چند دهه اخیر تحقیقاتی روی نوعی از میکروسکوپ به نام میکروسکوپ هم کانونی انجام شده که قادر به تجسم سه بعدی از نمونه مورد مطالعه می باشند. در این فصل ابتدا به اجمال به تاریخچه این میکروسکوپ پرداخته می شود. سپس در مورد مزایای آن نسبت به میکروسکوپ های رایج، عملکرد میکروسکوپ، قدرت تفکیک و اجزاء تشکیل دهنده میکروسکوپ هم کانونی بحث می شود.

^۱ Topography

^۲ Contrast

۲.۲: تاریخچه میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی^۱ (LSCM)

میکروسکوپ هم کانونی^۲ یکی از ابداعات مهم و کاربردی بشر می باشد که برای اولین بار توسط شخصی به نام مینسکی^۳ در سال ۱۹۵۷ ساخته شد. [4,5] این میکروسکوپ در ابتدا میکروسکوپ دو کانونی نام گذاری شده بود [6] که بعد ها به میکروسکوپ هم کانونی تغییر نام پیدا کرد. و با توجه به کاربرد های گسترده ای که در زیست شناسی و مهندسی داشت تحقیقات گسترده ای روی آن انجام شد.

در مورد سیر تکاملی میکروسکوپ هم کانونی به اجمال می توان به موارد زیر اشاره کرد.

در سال ۱۹۷۱ توسط ایگر^۴ از نور لیزر در میکروسکوپ هم کانونی استفاده شد. در ادامه در سال ۱۹۷۷ شخصی به نام شپارد^۵ تحقیقات مربوط به بخش ثوری میکروسکوپ هم کانونی را تکمیل تر کرد. در سالهای ۱۹۸۳ و ۱۹۸۵ اشخاصی به نام های اسلوند^۶ و بوید^۷ برای سرعت بخشیدن به عمل اسکن، روش اسکن دو آینه ای و روش اسکن به کمک صفحه چرخان را به میکروسکوپ هم کانونی اضافه کردند. البته اسکن توسط صفحه چرخان در سال ۱۹۹۶ توسط ای چی هارا^۸ تکمیل تر شد. میکروسکوپ هم کانونی نور سفید هم نسل جدید میکروسکوپ هم کانونی می باشد که از نظر دقت و سرعت نسبت به میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی عملکرد بهتری دارد. [7]

۳.۲: مزیت میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی نسبت به میکروسکوپ های رایج و کاربرد

های آن

در مورد کارکرد و مزایای میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی نسبت به میکروسکوپ های رایج می توان به موارد زیر اشاره کرد.

اولین مزیت اصلی میکروسکوپ روبشی لیزری هم کانونی بدست آوردن تجسم سه بعدی از یک سلول یا بافت زیستی می باشد. چیزی که میکروسکوپ های معمولی قادر به انجام آن نیستند.

¹ Laser scanning confocal microscope

² Confocal microscope

³ Minsky

⁴ Egger

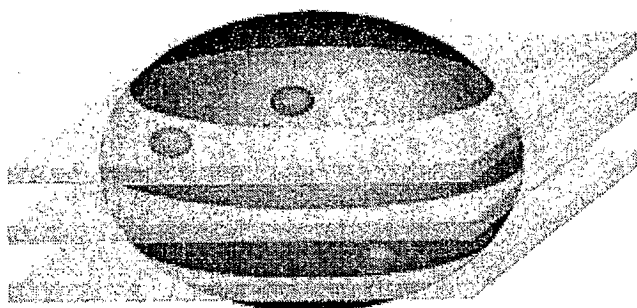
⁵ Sheppard

⁶ Aslund

⁷ Boyde

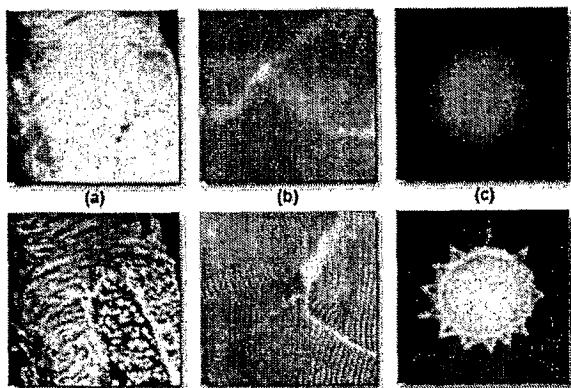
⁸ Ichihara

در میکروسکوپ های معمولی برای بدست آوردن شکل سه بعدی از یک بافت ضخیم، بافت را به صورت مکانیکی به برش های عرضی کوچکی تقسیم می کردند و سپس توسط میکروسکوپ تصویر برداری می شدند و در نهایت با مقایسه تصاویر مربوط به این برش ها می توانستند شکل سه بعدی از بافت مورد نظر را بدست آورند. اما این روش بسیار وقت گیر بود و هم چنین چون مجبور می شدند به صورت مکانیکی اقدام به برش بافت کنند، این روش تهاجمی محسوب می شد. زیرا عملاً بافت مربوطه از بین می رفت و تجسم سه بعدی بدست آمده به دقت برش و اثراتی که برش بر روی بافت می گذاشت بستگی داشت. در صورتی که میکروسکوپ هم کانونی امکان تجسم سه بعدی بافت را بدون برش برداری مکانیکی فراهم می کرد. این شیوه هم دقت بالاتری داشت، هم زمان کمتری می برد و هم لطمه ای به بافت یا نمونه مورد نظر وارد نمی شد. زیرا در این روش برش ها به شیوه اپتیکی و مجازی انجام می شود. [8,9] شکل ۱.۲ نحوه برش یک بافت را نشان می دهد.



شکل ۱.۲: نحوه برش یک بافت به صورت عرضی. [9]

دومین مزیت وضوح بالای تصویر برداری میکروسکوپ هم کانونی نسبت به میکروسکوپ های رایج است. در میکروسکوپ های رایج نورهای پراکنده شده از تمام نقاط روی سطح در تصویربرداری از سطح نمونه سهیمند. اما در میکروسکوپ هم کانونی، نور پراکنده شده از هر نقطه روی سطح نمونه فقط در تصویرسازی از همان نقطه از سطح نمونه سهیم است. [8,9] همین ویژگی باعث می شود که تصاویر حاصل از میکروسکوپ هم کانونی دارای کنتراست و وضوح بالاتری نسبت به تصاویر حاصل از میکروسکوپ های رایج باشد. شکل ۲.۲ این مقایسه را نشان می دهد.



شکل ۲.۲: مقایسه تصویر حاصل از میکروسکوپ اپتیکی با

میکروسکوپ هم کانونی. [10]