

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی مولکولی

طراحی و ساخت تیغه تأخیر انداز فاز در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر با انباشت

لایه‌های نانومتری اپتیکی

استادان راهنما:

دکتر حمیدرضا فلاح

دکتر مرتضی حاجی محمودزاده

استاد مشاور:

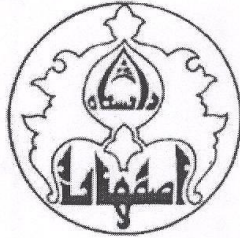
مهندس حسین زابلیان

پژوهشگر:

بدری مرادی

مهر ماه ۱۳۹۰

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات
و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه
متعلق به دانشگاه اصفهان است.



دانشگاه اصفهان

دانشکده علوم

گروه فیزیک

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی فیزیک گرایش اتمی مولکولی

خانم بدری مرادی تحت عنوان

طراحی و ساخت تیغه تأخیرانداز فاز در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر با انباشت

لایه‌های نانومتری اپتیکی

در تاریخ ۱۳۹۰/۷/۲۶ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی... به تصویب نهایی رسید.

امضا

۱- استاد راهنمای اول پایان نامه دکتر حمیدرضا فلاح با مرتبه‌ی علمی دانشیار

امضا

۲- استاد راهنمای دوم پایان نامه دکتر مرتضی حاجی محمودزاده با مرتبه‌ی علمی استادیار

امضا

۳- استاد مشاور پایان نامه مهندس حسین زابلیان با مرتبه‌ی علمی مربی

امضا

۴- استاد داور داخل گروه دکتر سید محمدحسن فیض با مرتبه‌ی علمی دانشیار

امضا

۵- استاد داور خارج از گروه دکتر فریبرز جهانشاه با مرتبه‌ی علمی استادیار

امضای مدیر گروه



سپاس بادیزدان دانا و توانا را که آفریدگار جهان است و داننده‌ی آشکار و نهان است و راننده‌ی چرخ زمان است و دارنده‌ی جانوران است و آورنده‌ی بهار و خزان است.

سپاس خداوندی را که نعمت بزرگ پدر و مادر بر سرفرزندانش ارزانی داشت.

از زحمات پدر و مادر کرامی ام و خانواده‌ی عزیزم که در دوران تحصیل بهواره مشوق و پشتیبانم بوده اند، کمال تشکر را دارم.

هم‌چنین از زحمات استادان محترم و ارجمند راهنما، جناب آقای دکتر فلاح و جناب آقای دکتر حاجی محمودزاده و استاد مشاور کرامی و ارجمند جناب آقای مهندس زابلیان که با راهنمایی‌های خود راه‌کشای اینجانب بوده اند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

در پایان از تمامی عزیزانی که در پیدایش این اثر سهیم بوده‌اند به ویژه، دوست عزیزم خانم صحرایی و مهندسین بخش لایه‌نشانی و پژوهش‌سکده‌ی لیزر صنایع الکترواپتیک صا ایران اصفهان صمیمانه تشکر می‌کنم.

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی،

به پاس عاطفه سرشار و کرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان بهترین پشتیبان است،

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهبشان به شجاعت می کراید و به پاس

محبت های بی درنشان که هرگز فروکش نمی کند،

این مجموعه را به

پدر و مادر عزیزم

تقدیم می کنم.

چکیده

تأخیراندازهای فازی ابزارهایی هستند که بین قطبش‌های s و p پرتو نور تراگسیلی یا بازتابی اختلاف فاز ایجاد می‌کنند. تأخیراندازهای چارک موجی اغلب، برای تولید نور قطبیده‌ی دایره‌ای از نور قطبیده‌ی خطی و بر عکس استفاده می‌شوند. این ابزارها را می‌توان به روش‌های مختلفی طراحی کرد و ساخت. تأخیراندازهای لایه نازک با لایه نشانی با استفاده از دو نوع ماده با ضرایب شکست بالا و پایین ساخته می‌شوند. در این رساله تأخیرانداز فازی چارک موجی تراگسیلی در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر با استفاده از لایه‌های نازک نانومتری اپتیکی طراحی و ساخته شد. برای طراحی باید، توان تراگسیل دو مؤلفه‌ی قطبش با هم برابر و بالاتر از ۹۵٪ و اختلاف فاز آن‌ها برابر با ۹۰ درجه باشد. برای انتخاب مواد نیز، باید چند عامل را در نظر گرفت. اولین عامل این است که به دو نوع ماده یکی با ضریب شکست بالا و یکی با ضریب شکست پایین نیاز است. عامل دوم شفافیت مواد مورد نظر در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر است و آخرین عامل این است که باید آستانه آسیب‌پذیری لیزری مواد مورد استفاده، بالا باشد تا بتوان از آن‌ها در سامانه‌های پر توان لیزری، استفاده کرد. با توجه به این عوامل از اکسید سیلیسیوم به عنوان ماده با ضریب شکست پایین و از اکسید تیتانیوم به عنوان ماده با ضریب شکست بالا استفاده شد. سپس با استفاده از نرم افزار پیشرفته‌ی لایه نازک، سامانه‌ی سی و دو لایه‌ی نانومتری طراحی شد. ساخت سامانه‌ی نهایی به روش تبخیر به کمک پرتو الکترونی و با دقت حدود یک نانومتر، انجام شد. سامانه شامل دو نمونه‌ی شانزده لایه‌ی نانومتری با ضخامت کل لایه‌های ۲۳۴۷/۸۹ نانومتر است که در شرایط کاملاً یکسان بر روی بسترهایی از جنس شیشه‌ی BK7 لایه نشانی شده، سپس توسط چسب اپتیکی به یکدیگر چسبانیده شدند. بیناب عبور آن با استفاده از طیف سنج دوپرتوی اندازه‌گیری شد. توان تراگسیل دو مؤلفه‌ی قطبش در زاویه‌ی فرود پرتو ۵۵ درجه، با هم برابر و بیش از ۹۵٪ است. به منظور بررسی کیفیت سطح سامانه از نمونه تصویر میکروسکوپ نیروی اتمی گرفته شد که نشان داد، سطح نمونه از کیفیت اپتیکی خوبی برخوردار است. نوع قطبش سامانه با استفاده از قطبش‌سنج آزموده شد. قطبش پرتو تراگسیلی از سامانه تحت زاویه‌ی ۵۳ درجه‌ی پرتو فرودی، دایره‌ای بود. با توجه به کاربرد تأخیراندازها در سامانه‌های پر توان لیزری، آستانه‌ی آسیب‌پذیری لیزری آن، با روش 1-on-1 اندازه‌گیری شد. نمونه در چگالی انرژی ۶/۲۱ ژول بر سانتی‌متر مربع آسیب دید، که انرژی بالایی است و نشان می‌دهد، این سامانه قابلیت استفاده در لیزرهای پر توان را دارد.

واژه‌های کلیدی: آستانه‌ی آسیب‌پذیری لیزری، تأخیرانداز فازی، قطبش، لایه‌های نازک نانومتری اپتیکی

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: مقدمه‌ای بر لایه‌های نازک

- ۱-۱ مقدمه ۱
- ۲-۱ تاریخچه ۲
- ۳-۱ کاربردهای لایه‌های نازک ۴
- ۴-۱ نگرشی به روش‌های انباشت لایه‌های نازک ۵
- ۱-۴-۱ تبخیر به وسیله پرتو الکترونی ۵
- ۲-۴-۱ روش کندوپاش ۶
- ۱-۲-۴-۱ روش کندوپاش دیودی ۶
- ۲-۲-۴-۱ روش RF ۸
- ۳-۲-۴-۱ روش مغناطیسی ۹
- ۴-۲-۴-۱ روش ترکیبی ۹
- ۵-۱ روش‌های ضخامت‌سنجی لایه‌های نازک ۱۰
- ۱-۵-۱ روش ضخامت‌سنجی جرمی یا بلور کوارتز ارتعاشی ۱۰

فصل دوم: مفهوم نور قطبیده و معرفی ابزارهای تولید آن

- ۱-۲ ماهیت نور ۱۲
- ۲-۲ مروری بر الکترومغناطیس ۱۳
- ۳-۲ مفهوم قطبش ۱۴
- ۴-۲ بازتاب و شکست نور در مرز محیط دی‌الکتریک ۱۹
- ۱-۴-۲ فرود عمودی ۲۰
- ۲-۴-۲ فرود مایل ۲۲
- ۱-۲-۴-۲ قطبش p ۲۳

۲۴	.....S ۲-۲-۴-۲ قطبش
۲۵	.....۵-۲ بازتاب خارجی و داخلی
۲۷	.....۶-۲ ابزارهای تولید نور قطبیده
۲۷	.....۱-۶-۲ تأخیراندازهای فازی
۲۷	.....۱-۱-۶-۲ تأخیرانداز چارک موجی
۲۸	.....۲-۱-۶-۲ تأخیرانداز نیم موجی
۲۸	.....۳-۱-۶-۲ تأخیراندازهای دوشکستی
۳۰	.....۴-۱-۶-۲ تأخیراندازهای لایه نازک نانومتری
۳۰	.....۲-۶-۲ متوازی السطوح فرنل
۳۱	.....۳-۶-۲ قطبیده‌ها
۳۲	.....۷-۲ خلاصه و بحث

فصل سوم: اصول طراحی تأخیراندازهای لایه نازک نانومتری

۳۳	.....۱-۳ مقدمه
۳۳	.....۲-۳ بازتاب و تراگسیل در لایه‌های نازک
۳۶	.....۳-۳ تحلیل ماتریس مشخصه لایه نازک
۳۷	.....۴-۳ ضرایب بیضی‌سنجی و تأخیر فاز نسبی
۳۸	.....۵-۳ ضرایب بیضی‌سنجی در یک سری از سطوح لایه نشانی شده
۳۹	.....۶-۳ تأخیراندازهای فازی لایه نازک
۴۰	.....۷-۳ اصول طراحی
۴۲	.....۸-۳ عوامل مؤثر در طراحی
۴۲	.....۱-۸-۳ انتخاب نوع مواد مورد استفاده

۴۴.....	۱-۱-۸-۳ ویژگی‌های اکسید سیلیسیوم.....
۴۴.....	۲-۱-۸-۳ ویژگی‌های اکسید تیتانیوم.....
۴۵.....	۲-۸-۳ تعداد لایه‌های سامانه.....
۴۵.....	۳-۸-۳ تأثیر زاویه‌ی فرود.....
۴۵.....	۴-۸-۳ اختلاف ضرایب شکست مواد.....
۴۶.....	۹-۳ طراحی‌های انجام شده.....
۴۶.....	۱-۹-۳ طراحی سامانه‌ی ۱۹ لایه‌ای $ZrO_2 - SiO_2$
۴۹.....	۲-۹-۳ طراحی سامانه‌ی ۱۳ لایه‌ای $Ta_2O_5 - SiO_2$
۵۳.....	۳-۹-۳ طراحی سامانه‌ی ۱۵ لایه‌ای $TiO_2 - SiO_2$
۵۶.....	۱۰-۳ کاهش شدت میدان الکتریکی در لایه‌ها.....
۵۶.....	۱-۱۰-۳ اضافه کردن دو لایه با ضرایب شکست بالا و پایین.....
۶۴.....	۲-۱۰-۳ اضافه کردن یک تک لایه با ضخامت نیم موجی و ضریب شکست پایین اکسید سیلیسیوم.....
۶۸.....	۱۱-۳ خلاصه و نتیجه‌گیری.....

فصل چهارم: ساخت سامانه و بررسی آستانه آسیب پذیری لیزری آن

۶۹.....	۱-۴ مقدمه.....
۶۹.....	۲-۴ معرفی دستگاه لایه نشانی.....
۷۲.....	۳-۴ روش ضخامت‌سنجی مورد استفاده.....
۷۲.....	۴-۴ ساخت سامانه.....
۷۳.....	۱-۴-۴ ساخت تک لایه چارک موجی اکسید تیتانیوم در طول موج مرکزی ۹۵۰ نانومتر.....
۷۴.....	۲-۴-۴ ساخت تک لایه چارک موجی اکسید سیلیسیوم در طول موج مرکزی ۹۵۰ نانومتر.....
۷۵.....	۳-۴-۴ ساخت سامانه‌ی ۱۶ لایه‌ای $TiO_2 - SiO_2$

۴-۴-۴	آزمون سامانه‌ی نهایی	۸۳
۴-۵	آستانه آسیب لیزری	۸۶
۴-۵-۱	آزمون‌های آستانه آسیب لیزری	۸۷
۴-۵-۲	برپایی آزمایش اندازه‌گیری آستانه‌ی آسیب لیزری	۸۸
۴-۶	خلاصه و بحث	۹۰
۴-۷	پیشنهادات	۹۱
	مراجع	۹۲

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: دستگاه روش کندوپاش DC.....	۷
شکل ۱-۲: روش کندوپاش RF.....	۸
شکل ۱-۳: روش کندوپاش ترکیبی.....	۹
شکل ۱-۲: نمایش مسیری که انتهای بردار E به صورت تابعی از زمان طی می‌کند.....	۱۶
شکل ۲-۲: میدان‌های یک موج قطبیده‌ی خطی.....	۱۸
شکل ۲-۳: بردارهای میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی نور قطبیده‌ی دایره‌ای راستگرد.....	۱۸
شکل ۲-۴: بردارهای میدان الکتریکی و مغناطیسی نور قطبیده‌ی بیضوی راستگرد.....	۱۹
شکل ۲-۵: برخورد مایل یک موج تخت با یک مرز.....	۱۹
شکل ۲-۶: جهت میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بازتابی و تراگیسیل در برخورد عمود با یک مرز.....	۲۰
شکل ۲-۷: جهت قرار دادی میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی.....	۲۳
شکل ۲-۸: چرخش جهت ارتعاش موج قطبیده‌ی خطی توسط تأخیر انداز نیم موجی.....	۲۸
شکل ۲-۹: تبدیل قطبش خطی به دایره‌ای توسط تأخیر انداز چارک موجی دوشکستی.....	۲۹
شکل ۲-۱۰: متوازی السطوح فرنل.....	۳۱
شکل ۲-۱۱: نمایی از کاربرد تأخیر انداز چارک موجی و قطبنده در یک کاواک لیزری.....	۳۲
شکل ۳-۱: بردارهای موج و میدان الکتریکی وابسته به حالت فرود عمودی بر یک تک لایه‌ی دی‌الکتریک.....	۳۴
شکل ۳-۲: نمودار اختلاف فاز در تراگیسیل قطبش‌های s و p بر حسب طول موج برای سامانه ۱۹ لایه‌ای.....	۴۸
شکل ۳-۳: بیناب تراگیسیل قطبش‌های s و p بر حسب طول موج برای سامانه ۱۹ لایه‌ای.....	۴۸
شکل ۳-۴: نمودار اختلاف فاز تراگیسیل قطبش‌های s و p سامانه‌ی ۱۳ لایه‌ای وقتی لایه‌ها چارک موجیند.....	۵۰
شکل ۳-۵: بیناب تراگیسیل قطبش‌های s و p برای سامانه‌ی ۱۳ لایه‌ای وقتی همه‌ی لایه‌ها چارک موجی.....	۵۰
شکل ۳-۶: نمودار اختلاف فاز در تراگیسیل قطبش‌های s و p بر حسب طول موج برای سامانه‌ی ۱۳ لایه‌ای وقتی ضخامت لایه‌های اول و آخر بهینه سازی شده‌اند و چارک موجی نیستند.....	۵۲

- شکل ۳-۷: بیناب تراگسیل قطبش‌های s و p برحسب طول موج سامانه ۱۳ لایه‌ای وقتی ضخامت لایه‌های اول و آخر بهینه‌سازی شده‌اند و چارک موجی نیستند..... ۵۲
- شکل ۳-۸: نمودار اختلاف فاز در تراگسیل قطبش‌های s و p برحسب طول موج برای سامانه ۱۵ لایه‌ای..... ۵۴
- شکل ۳-۹: نمودار تراگسیل قطبش‌های s و p برحسب طول موج برای سامانه ۱۵ لایه‌ای..... ۵۴
- شکل ۳-۱۰: نمودار اختلاف فاز قطبش‌های s و p طراحی v -stack..... ۵۵
- شکل ۳-۱۱: نمودار تراگسیل قطبش‌های s و p طراحی v -stack..... ۵۵
- شکل ۳-۱۲: نمودار مربع میانگین زمانی طراحی ۱۳ لایه‌ای..... ۵۷
- شکل ۳-۱۳: نمودار مربع میانگین زمانی طراحی ۱۵ لایه‌ای..... ۵۹
- شکل ۳-۱۴: نمودار دایره‌ای بازتاب سامانه‌ی ۱۵ لایه‌ای برای قطبش‌های s و p ۶۱
- شکل ۳-۱۵: شدت میدان الکتریکی سامانه‌ی ۱۵ لایه‌ای..... ۶۲
- شکل ۳-۱۶: شدت میدان الکتریکی بعد از اضافه کردن دو لایه در سامانه نهایی..... ۶۳
- شکل ۳-۱۷: نمودار اختلاف فاز قطبش‌های s و p پس از اضافه کردن دو لایه..... ۶۳
- شکل ۳-۱۸: نمودار بیناب تراگسیل قطبش‌های s و p پس از اضافه کردن دو لایه..... ۶۴
- شکل ۳-۱۹: نمودار شدت میدان پس از اضافه کردن لایه‌ی نیم موجی اکسید سیلیسیوم..... ۶۶
- شکل ۳-۲۰: بیناب تراگسیل قطبش‌های s و p سامانه ۱۶ لایه‌ای پس از اضافه کردن لایه‌ی نیم موجی..... ۶۶
- شکل ۳-۲۱: اختلاف فاز قطبش‌های s و p سامانه ۱۶ لایه‌ای پس از اضافه کردن لایه‌ی نیم موجی..... ۶۷
- شکل ۳-۲۲: بیناب تراگسیل قطبش‌های s و p سامانه ۳۲ لایه‌ای پس از اضافه کردن لایه نیم موجی..... ۶۷
- شکل ۳-۲۳: اختلاف فاز قطبش‌های s و p سامانه‌ی ۳۲ لایه‌ای پس از اضافه کردن لایه نیم موجی..... ۶۸
- شکل ۴-۱: نمایی از دستگاه لایه‌نشانی مورد استفاده..... ۷۰
- شکل ۴-۲: نمایی از آرایه‌ی هندسی محفظه‌ی خلأ دستگاه..... ۷۱
- شکل ۴-۳: بیناب بازتاب تک لایه‌ی اکسید تیتانیوم تحت زاویه‌ی ۴۵ درجه..... ۷۴
- شکل ۴-۴: بیناب بازتاب تک لایه‌ی اکسید سیلیسیوم تحت زاویه‌ی ۴۵ درجه..... ۷۵
- شکل ۴-۵: بیناب تراگسیل قطبش‌های s و p سامانه‌ی ساخته شده برحسب طول موج تحت زاویه‌ی ۴۵ درجه..... ۷۶
- شکل ۴-۶: نمودار اختلاف فاز قطبش‌های s و p مهندسی معکوس سامانه‌ی ۱۶ لایه‌ای..... ۷۸

- شکل ۴-۷: نمودار بیناب تراگیسیل قطبش‌های S و P مهندسی معکوس سامانه‌ی ۱۶ لایه‌ای ۷۸
- شکل ۴-۸: نمودار اختلاف فاز قطبش‌های S و P مهندسی معکوس سامانه‌ی ۳۲ لایه‌ای ۷۹
- شکل ۴-۹: نمودار بیناب تراگیسیل قطبش‌های S و P مهندسی معکوس سامانه‌ی ۳۲ لایه‌ای ۷۹
- شکل ۴-۱۰: نمودار درصد لایه نشانی مواد ۸۰
- شکل ۴-۱۱: بیناب تراگیسیل قطبش‌های S و P نمونه‌ی ساخته شده برحسب طول موج در زاویه ۴۵ درجه ۸۱
- شکل ۴-۱۲: بیناب تراگیسیل قطبش‌های S و P نمونه‌ی ساخته شده برحسب طول موج در زاویه ۵۰ درجه ۸۱
- شکل ۴-۱۳: بیناب تراگیسیل قطبش‌های S و P نمونه‌ی ساخته شده برحسب طول موج در زاویه ۵۵ درجه ۸۲
- شکل ۴-۱۴: تصویر نمونه‌ی نهایی ۸۲
- شکل ۴-۱۵: تصویر سه بعدی میکروسکوپ نیروی اتمی از سطح نمونه‌ی نهایی ۸۳
- شکل ۴-۱۶: آرایش نمادین آزمون اندازه‌گیری نوع قطبش ۸۴
- شکل ۴-۱۷: شکل مربوط به نوع قطبش قطبنده که توسط قطبش سنج اندازه‌گیری شده است ۸۴
- شکل ۴-۱۸: شکل مربوط به نوع قطبش تأخیرانداز که توسط قطبش سنج اندازه‌گیری شده است ۸۵
- شکل ۴-۱۹: آرایش نمادین آزمون آستانه آسیب لیزری ۸۹

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۳-۱: طراحی تاخیر انداز فازی لایه نازک با استفاده از $ZrO_2 - SiO_2$	۴۷
جدول ۳-۲: طراحی تاخیر انداز فازی لایه نازک با استفاده از $Ta_2O_5 - SiO_2$ وقتی همه‌ی ضخامت‌ها	
چارک موجیند.....	۴۹
جدول ۳-۳: طراحی تاخیر انداز فازی لایه نازک با استفاده از $Ta_2O_5 - SiO_2$ وقتی ضخامت لایه اول و	
آخر چارک موجی نیست.....	۵۱
جدول ۳-۴: طراحی تاخیر انداز فازی لایه نازک با استفاده از $TiO_2 - SiO_2$	۵۳
جدول ۳-۵: طراحی v -stack سامانه ۳۰ لایه‌ای از $TiO_2 - SiO_2$	۵۵
جدول ۳-۶: طراحی ۱۳ لایه‌ای چارک موجی.....	۵۸
جدول ۳-۷: طراحی ۱۵ لایه‌ای چارک موجی.....	۵۸
جدول ۳-۸: طراحی مربوط به اضافه کردن دو لایه به سامانه نهایی.....	۶۲
جدول ۳-۹: طراحی سامانه نهایی با اضافه کردن لایه‌ی نیم موجی اکسید سیلیسیوم.....	۶۵
جدول ۴-۱: شرایط انباشت تک لایه‌ی چارک موجی اکسید تیتانیوم.....	۷۳
جدول ۴-۲: شرایط انباشت تک لایه‌ی چارک موجی اکسید سیلیسیوم.....	۷۴
جدول ۴-۳: شرایط انباشت سامانه شانزده لایه‌ای نهایی.....	۷۶
جدول ۴-۴: طراحی مربوط به مهندسی معکوس سامانه.....	۷۷
جدول ۴-۵: ویژگی‌های لیزر مورد استفاده در آزمون آستانه آسیب لیزری.....	۸۸
جدول ۴-۶: پارامترهای اندازه‌گیری LDT.....	۹۰

فصل اول

مقدمه‌ای بر لایه‌های نازک

۱-۱ مقدمه

دنیای نوین امروز، خواستار قابلیت‌های متعددی از مواد مهندسی است، به صورتی که قطعات مهندسی باید خواص متعددی در سطح داشته باشند. در تولیدات مهندسی، اساس طراحی قطعات بر مبنای دو بخش سطح و عمق صورت می‌گیرد. بار مکانیکی توسط کل قطعه تحمل می‌شود و سطح قطعه وظیفه‌ی حفاظت از آن را در برابر پدیده‌های سطحی بر عهده دارد. طبیعی است که یک ماده واحد به تنهایی قادر به پاسخ‌گویی به چنین نیازهایی نیست و لذا بایستی از مواد مرکب شامل پوشش‌های مناسب استفاده نمود.

مفید بودن خصوصیات لایه‌های نازک و جالب توجه بودن مطالعه بر روی رفتار جامدهای دو بعدی باعث شده که چه از نظر علمی و چه از نظر فناوری به لایه‌های نازک توجه ویژه‌ای شود. امروزه بسیاری از قطعات جدید و پیچیده‌ی نوری و الکترونیکی با استفاده از لایه‌های نازک پوشش داده می‌شوند. با پیشرفت صنایع الکترونیک امروزه به قطعاتی نیاز است که قادر به واکنش سریع در مقابل تغییر سوی جریان و هم‌چنین قادر به پاسخ‌گویی در بسامدهای بالا باشند. با ساخت دیود و ترانزیستور اولین گام جدی جهت به کارگیری لایه‌های نازک برداشته شده

است. با رشد زمینه‌های مختلف استفاده از مدارهای الکترونیکی مانند وسایل صنعتی، آزمایشگاهی، خانگی و به ویژه فضایی و نظامی، تعداد زیادی از این قطعات و مدارها را در یک واحد گنجانده و تولید شدند. افزایش استفاده از مدارهای مجتمع سبب شد تا لایه‌های نازک و فناوری ساخت آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار شود. لایه‌های نازک در ساخت وسایل نوری، الکترونیکی و اپتوالکترونیکی، آینه‌های لیزر، تأخیراندازهای فازی مورد استفاده در ادوات اپتیکی و لیزری، قطبندها و... نقش اساسی دارد و سالانه مبالغ زیادی صرف تحقیقات و سرمایه‌گذاری در این زمینه می‌شود.

۱-۲ تاریخچه

فناوری لایه‌های نازک یکی از قدیمی‌ترین هنرها و در عین حال یکی از جدیدترین علوم به شمار می‌رود. تاریخچه‌ی استفاده از لایه‌های نازک به خصوص لایه‌های نازک فلزی به عهد باستان و در حدود ۳۴۰۰ سال پیش برمی‌گردد. طلاکاری و اکلیل زدن، نمونه‌های بارزی از این هنرها در دوران گذشته می‌باشد. این روند تا به امروز ادامه داشته اما احتمالاً اولین لایه‌های نازک جدید و امروزی در قرن نوزدهم میلادی به‌دست آمده است. بونسن^۱ و گروو^۲ توانستند لایه‌های نازک فلزی را به ترتیب با روش واکنش شیمیایی و کندوپاش تخلیه‌ی نورانی^۳ به‌دست آورند [۱].

فارادی^۴ در سال ۱۸۵۷ میلادی توانست با استفاده از روش تبخیر گرمایی^۵ از سیمی که از آن جریان زیادی عبور می‌کرد، لایه‌های نازک فلزی به‌دست آورد [۲].

برای نخستین بار، آن چیزی که نورشناسی لایه‌های نازک جدید نامیده می‌شود توسط رابرت بویل^۶ و رابرت هوک^۷ به‌طور مستقل در بررسی آن چه امروزه حلقه‌های نیوتن نامیده می‌شود، کشف شد. امروزه توضیح این پدیده کار بسیار ساده‌ای است و با استفاده از تداخل در یک تک لایه با ضخامت متغیر، توصیف می‌شود. با

^۱Bunsen

^۲Grove

^۳Glow Discharge Sputtering

^۴Faraday

^۵Evaporation Thermal

^۶Robert Boyle

^۷Robert Hooke

وجود این، در آن زمان نظریه‌ی ماهیت نور به اندازه کافی پیشرفته نبود و به مدل ذره‌ای ایزاک نیوتن^۱ محدود می‌شد.

در ۱۲ نوامبر ۱۸۰۱ توماس یانگ^۲ اصل تداخل نور را ارائه کرد و اولین توضیح قابل قبول از این اثر را بیان نمود، اما در آن زمان نظریه‌ی یانگ دور از مفاهیم پذیرفته شده‌ی جهانی بود و مورد قبول واقع نشد. باز شناسی این نظریه به آرامی صورت گرفت و بیشتر بستگی به کار آگوستین جین فرنل^۳ داشت که به طور مستقل نظریه‌ی موجی بودن نور را تصدیق کرد. او در سال ۱۸۱۶ ماهیت عرضی بودن نور را کشف کرد. فرنل اصل تداخل یانگ را با نظریه‌ی هویگنس در مورد انتشار نور ترکیب کرد و نظریه‌ی زیبای شکست نور را معرفی کرد. برای کسانی که در حوزه‌ی لایه‌های نازک اپتیکی کار می‌کنند قوانین فرنل در مورد بزرگی و فاز نور تراکسیلی و بازتابی در یک مرز اهمیت اساسی دارند.

در قرن نوزدهم انقلاب بزرگی در زمینه‌ی تداخل سنجی روی داد. در سال ۱۸۱۷ جوزف فرانهورف^۴ چیزی را که احتمال می‌رود اولین لایه‌نشانی ضدبازتاب باشد را ساخت. در سال ۱۸۷۳ جیمز کلارک ماکسول^۵ نظریه‌ی الکترومغناطیس را بیان کرد. معادلات ماکسول همه نظریه‌های اساسی برای تحلیل مسائل لایه‌های نازک اپتیکی را در بر داشت. پیشرفت حائز اهمیت در زمینه‌ی لایه‌های نازک، ساخت تداخل سنج فابری-پرو^۶ بود که در سال ۱۸۹۹ توصیف شد و یکی از ساختارهای اساسی برای پالایه‌های لایه نازک گردید.

پیشرفت‌ها در دهه ۱۹۳۰ سریع‌تر شد و لایه‌نشانی جدید پدید آمد. مسئله با اهمیت در این تحولات در لایه‌های نازک اپتیکی، صنعتی سازی آن بود که با تکامل یافتن فناوری سیستم‌های خلأ و صنایع الکترونیک در این زمان صورت گرفت. در اوایل دهه ۱۹۳۰ بارچ^۷ یک پمپ پخشی قابل استفاده در مقیاس صنعتی ساخت و از آن زمان به بعد پیشرفت‌های زیادی در زمینه‌ی لایه‌های نازک اپتیکی انجام شد [۳].

^۱Isaac Newton

^۲Thomas Young

^۳Augustin Jean Fresnel

^۴Joseph Fraunhofer

^۵James Clerk Maxwell

^۶Fabry-Perot interferometer

^۷Burch

۳-۱ کاربردهای لایه های نازک

لایه‌های نازک دارای خواص ویژه‌ای هستند که با خواص مواد تشکیل دهنده‌ی آن‌ها در حالت حجمی به میزان قابل ملاحظه‌ای متفاوت است. این تفاوت به واسطه‌ی ابعاد فیزیکی، شکل هندسی و ریز ساختار آن‌ها به وجود می‌آید. همچنین این ویژگی‌های مشخصه‌ی لایه‌های نازک را می‌توان به میزان بسیار زیادی تغییر داده و به منظور حصول مشخصه‌های فیزیکی مورد نیاز و مطلوب تعدیل کرد. این ویژگی‌ها پایه و اساس توسعه‌ی کاربردهای لایه‌های نازک را در دستگاه‌های مختلف تشکیل می‌دهند. از طرف دیگر لایه‌های نازک با سطح بزرگ به عنوان پوشش‌هایی برای مبدل‌های گرمایی انرژی خورشید، سلول‌های خورشیدی، صفحات نمایش بلور مایع، لایه‌های محافظ و... به کار برده می‌شود. در حقیقت در بسیاری از دستگاه‌های اپتیکی و الکترونیکی جدید، لایه‌های نازک به کار برده می‌شوند.

از مهم‌ترین کاربردهای لایه‌های نازک در اپتیک و اپتوالکترونیک استفاده در تولید آینه‌ها، پوشش‌های ضد بازتاب برای قطبنده‌ها^۱، تأخیراندازهای فازی^۲ و پالایه‌ها^۳ می‌باشد. برای تولید آینه‌های لیزری از آلومینیوم، رودیوم و گاهی نقره استفاده می‌شود. آلومینیوم بازتابندگی بالایی دارد اما از لحاظ شیمیایی پایدار نیست در حالی که رودیوم در ناحیه‌ی نور مرئی ۸۰٪ بازتابندگی دارد و مقاومت شیمیایی و مکانیکی آن بالاست، نقره هم نرم است و در حضور ترکیب‌های گوگرد دار از لحاظ شیمیایی تغییر می‌کند ولی بازتابندگی آن بالاست و در طول موج ۵۵۰ نانومتر بازتابندگی در حدود ۹۷٪ دارد و در طول موج‌های ناحیه‌ی فرابنفش بازتابندگی آن کاهش می‌یابد به طوری که در طول موج ۳۲۰ نانومتر بازتابندگی حدود ۸٪ دارد [۴].

با ترکیب لایه‌ها با ضخامت‌ها و ضریب شکست‌های مناسب می‌توانیم روی سطح شیشه، پوشش‌های ضد بازتاب ایجاد کنیم و به این ترتیب تراگسیل را افزایش دهیم. با استفاده از یک سامانه هفت لایه‌ای از سیلیسیوم و اکسید سیلیسیوم می‌توان یک تأخیرانداز نیم موجی در طول موج ۱/۵۵ میکرومتر طراحی کرد که میزان تراگسیل آن در زاویه فرود پرتو ۴۵ درجه و این طول موج، برای قطبش‌های s و p مساوی و برابر ۹۹/۹٪ باشد و فقط با تغییر ضخامت و تعداد لایه‌ها با استفاده از همین دو ماده یک تأخیرانداز چارک موجی یازده لایه‌ای طراحی کرد که در همین زاویه فرود پرتو و در این طول موج توان تراگسیل قطبش‌های s و p آن بالای ۹۹/۴٪ باشد. این که در یک سیستم ضد بازتاب میزان تراگسیل بسیار باشد و بازتاب به حداقل مقدار ممکن برسد بسیار مهم است، زیرا در

^۱Polarizers

^۲Phase Retarders

^۳Filters

سیستم‌های ضدبازتاب لیزری به ویژه در لیزرهای پر قدرت نیاز داریم که میزان پس‌خور (بازتاب) را در سیستم به حداقل ممکن برسانیم [۵].

در این رساله به بررسی و ساخت یک نمونه تأخیرانداز فازی چارک موجی تراگسیلی می‌پردازیم و کاهش بازتاب در سیستم را بررسی خواهیم کرد. این تأخیرانداز فازی در لیزر پر قدرت Nd:YAG در طول موج ۱۰۶۴ نانومتر استفاده می‌شود و با توجه به این که لیزر مورد نظر یک لیزر پر قدرت است، افزایش توان تراگسیل سامانه و کاهش میزان پس‌خور لیزری و همچنین بررسی آستانه آسیب‌پذیری مواد مورد استفاده در سامانه امری بسیار پر اهمیت است که به بررسی آن‌ها در فصل‌های آینده خواهیم پرداخت.

۴-۱ نگرشی به روش‌های انباشت لایه‌های نازک

روش‌های انباشت لایه‌های نازک را به طور کلی می‌توان به دو دسته‌ی روش‌های فیزیکی و روش‌های شیمیایی تقسیم‌بندی کرد. در این قسمت دو روش فیزیکی لایه نشانی تبخیر به وسیله‌ی پرتو الکترونی^۱ و کندوپاش^۲ را معرفی می‌کنیم.

۱-۴-۱ تبخیر به وسیله پرتو الکترونی

این روش برای لایه نشانی مواد اکسیدی با نقطه ذوب بالا مانند TiO_2 ، SiO_2 ، ZrO_2 ، Ta_2O_5 و ... به کار می‌رود. ماده مورد نظر داخل یک بوته مناسب از جنس مس یا کربن که به وسیله جریان آب خنک می‌شود، قرار داده می‌شود. سپس تفنگ الکترونی پرتوی از الکترون گسیل می‌کند که با اعمال ولتاژ زیاد، انرژی جنبشی آن‌ها زیاد می‌شود، با هدایت و کانونی کردن پرتوهای الکترونی توسط یک میدان مغناطیسی روی سطح مواد داخل بوته، ماده گرم و در نهایت تبخیر می‌شود. هنگامی که قسمت مرکزی ماده، کانون تابش پرتوهای الکترونی می‌گردد، دیواره‌های ماده که در تماس با بوته هستند با جریان آب سرد، خنک می‌شوند و به این صورت امکان هر گونه واکنش بین ماده و بوته از بین می‌رود. هنگامی که اکسیدهای فلزی مانند TiO_2 ، SiO_2 ، Ta_2O_5 و ... را برای ایجاد لایه نازک تبخیر می‌کنند، امکان تجزیه‌ی مواد به اکسیژن و یون‌های فلزی وجود دارد. برخورد الکترون‌های پر انرژی احتمال تجزیه به یون‌های فلزی را بیشتر می‌کند. در نتیجه حضور یون‌های فلزی در لایه تشکیل شده باعث می‌شود تا لایه‌ی شفاف دی‌الکتریک اکسید فلزی، با حضور ناخالصی فلز، دارای جذب شود.

^۱Electron Beam Evaporation

^۲Sputtering