





دانشگاه تهران

پردیس علوم

دانشکده فیزیک

عنوان :

اندازه گیری ضخامت لایه های شفاف با استفاده از نمایانی فریز های
جایگزین نشده

نگارش :

مه لقا حسن پور

استاد راهنما :

دکتر محمد تقی توسلی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیک

(گرایش اتمی - مولکولی)

بهمن ۱۳۸۶

۴۷۸۱



جمهوری اسلامی ایران
دانشگاه تهران

اداره کل تحصیلات تکمیلی

باسمه تعالی

تمهید نامه اصالت اثر

اینجانب *مجتبی میرمتعهد* می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه / رساله حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است ، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه / رساله قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است . در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد .
کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پردیس / دانشکده / مرکز دانشگاه تهران می باشد .

نام و نام خانوادگی دانشجو *مجتبی میر*

امضاء

آدرس : خیابان انقلاب اول خیابان فخر رازی - پلاک ۵ کد پستی : ۱۳۰۴۵/۵۶۸

فکس : ۶۴۹۷۳۱۴



به نام خدا
دانشگاه تهران

پردیس علوم
دانشکده فیزیک

گواهی دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

هیات داوران پایان نامه کارشناسی ارشد خانم مه لقا حسینی پور

در رشته: فیزیک گرایش اتمی ملکولی

با عنوان: " اندازه گیری ضخامت لایه های شفاف از روی تغییر نمایانی "

را در تاریخ: ۸۶/۱۱/۳۰

به عدد به حروف

۱۶۲۵
هزار و شصت و پنج

با نمره نهایی:

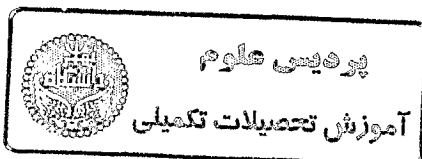
ارزیابی نمود.

عالی

و درجه:

امضاء	دانشگاه	مرتبه دانشگاهی	نام و نام خانوادگی	مشخصات هیات داوران	ردیف
	تهران	استاد	دکتر محمد تقی توسلی	استاد راهنما:	۱
	دانشگاه زنجان	استادیار	دکتر احمد درودی	استاد داور خارجی:	۳
	تهران	استادیار	دکتر خسرو حسینی	استاد داور داخلی:	۳
	تهران	دانشیار	دکتر حمید رضا مشفق	نماینده کمیته تحصیلات تکمیلی دانشکده:	۴

تذکر: این برگه پس از تکمیل توسط هیات داوران در نخستین صفحه پایان نامه درج می گردد.



تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

چکیده:

فریزهای تداخلی جایگزین نشده در بازتاب از تیغه تخت موازی، از تقسیم جبهه موج همراه با تقسیم دامنه بوجود می آیند، این فریزها حقیقی هستند و اگر چشمه نور یک لیزر باشد، نقش تداخلی روی پرده، هر جا در مجاورت لایه به وضوح قابل دیدن است. در این رساله روشی ارائه می شود که در آن از بررسی تغییرات نمایانی این فریزها، با تغییر زاویه فرود، ضخامت لایه تعیین می شود. ابتدا اختلاف راه نوری پرتوهای تشکیل دهنده فریزهای جایگزین نشده در بازتاب از تیغه بدون لایه و با لایه فرمول بندی و سپس تغییرات شدت فریزها با زاویه، برای ضخامت ها و ضرایب شکست مختلف لایه به صورت نظری بررسی می شود. در ادامه ضریب شکست و ضخامت چند نمونه به طور تجربی اندازه گیری شده است. غیر مخرب بودن، عدم نیاز به پله، عدم نیاز به کالیبراسیون، امکان اندازه گیری ضریب شکست، قابل کاربرد بودن در محدوده گسترده ضخامت، بخصوص لایه های ضخیم از محاسن روش مذکور است. با این روش می توان ضخامت مایع قرار گرفته روی تیغه شفاف را اندازه گرفت.

کلید واژه: اندازه گیری ضخامت، تداخل جایگزین نشده، تغییر نمایانی.

لم یشکر المخلوق و لم یشکر الخالق

با سپاس از خداوند تبارک و تعالی که توفیق کسب علم و معرفت به من عطا فرمود. بر خود لازم می دانم از استاد گرامی ام جناب آقای دکتر توسلی که راهنمایی ها و پیشنهادات ایشان همواره راهگشای کارم بود، تشکر و قدر دانی نمایم. همچنین از آقای دکتر ارشمید نهال و آقای دکتر خسرو معدنی پور که از کمک های فکری و راهنمایی هایشان بهره مند شدم، تشکر می نمایم. از جناب آقای یاسر عبدی به خاطر راهنمایی و مساعدتشان در ساخت نمونه ها سپاسگزاری می کنم.

و

در نهایت از پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگی حامی من بودند نهایت تشکر و قدر دانی را دارم.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	مقدمه
۳	فصل اول: مروری بر روش های مختلف اندازه گیری خواص لایه های نازک
۴	۱-۱- مقدمه
۵	۲-۱- خواص لایه های نازک
۶	۳-۱- انواع پوشش ها و کاربرد آن ها
۷	۱-۳-۱- پوشش های تزئینی
۷	۲-۳-۱- پوشش های نوری
۱۰	۴-۱- روش های مختلف اندازه گیری ضخامت لایه ها
۱۱	۱-۴-۱- روش وزنی
۱۱	۲-۴-۱- روش الکتریکی
۱۲	۳-۴-۱- روش صوتی
۱۲	۴-۴-۱- روش نوری
۱۳	۱-۴-۴-۱- روش های مبتنی بر تداخل سنجی
۱۹	۲-۴-۴-۱- روش های مبتنی بر بازتاب سنجی
۲۳	۳-۴-۴-۱- روش های مبتنی بر عبور سنجی
۲۴	۴-۴-۴-۱- بیضی سنجی
۲۷	۵-۴-۴-۱- تبدیل فوریه گسسته
۲۹	۶-۴-۴-۱- اشعه X
۳۰	فصل دوم: مبانی نظری
۳۱	۱-۲- مقدمه
۳۴	۲-۲- اختلاف راه نوری برای فریز های غیر جایگزیده ناشی از تیغه تخت موازی
۳۴	۱-۲-۲- تداخل با پرتو های واگرای همدوس

۳۵	۲-۲-۲- تداخل با پرتو های همدوس و همگرا
۳۶	۳-۲-۲- محاسبه اندر فریز
۳۷	۴-۲-۲- محاسبه ضریب شکست تیغه
۳۷	۵-۲-۲- محاسبه ضخامت تیغه
	۳-۲- اختلاف راه نوری برای فریز های غیر جایگزیده ناشی از تیغه تخت موازی
۳۸	حاوی لایه
۴۰	۴-۲- شدت بازتابیده از تیغه حاوی لایه
۴۲	۵-۲- شبیه سازی و نتایج آن
۵۱	۶-۲- محاسبه ضریب شکست
۵۳	۷-۲- محاسبه ضخامت
۵۵	فصل سوم: کارها و نتایج تجربی
۵۶	۱-۳- کالیبراسیون CCD
۵۶	۱-۱-۳- مقدمه
۵۷	۲-۱-۳- شرح روش
۵۹	۲-۳- نحوه ساخت نمونه
۶۰	۳-۳- اندازه گیری ضریب شکست و ضخامت لایه
۶۰	۱-۳-۳- چیدمان آزمایش
۶۴	۲-۳-۳- نتایج تجربی
۶۴	۱-۲-۳-۳- بررسی نتایج
۷۴	۲-۲-۳-۳- بررسی خطا
۷۶	فصل چهارم: بحث و نتیجه گیری
۷۹	مراجع
۸۱	واژه نامه به ترتیب الفبای لاتین
۸۳	پیوست ۱
۸۴	پیوست ۲

فهرست شکل ها

صفحه	عنوان
۸	شکل (۱-۱): بازتاب نور از سطح، الف) شیشه معمولی، ب) شیشه با لایه ضد بازتاب.
۸	شکل (۲-۱): الف) آینه سطح پشتی، ب) آینه سطح رویی.
۹	شکل (۳-۱): شمایی از موجبر صفحه ای و بازتاب کلی در لایه نازک.
۱۴	شکل (۴-۱): طرح ساده از وسیله مورد استفاده توسط اهایاما و موری.
۱۵	شکل (۵-۱): ساختار تداخل سنج و فریز های ثبت شده.
۱۶	شکل (۶-۱): ساختار تداخل سنج و فریز های ثبت شده.
۱۷	شکل (۷-۱): چیدمان آزمایش، الف) برای اندازه گیری ضخامت، ب) برای اندازه گیری ضریب شکست.
۱۸	شکل (۸-۱): طرح فریز ها از قسمت لایه دار و بدون لایه.
۲۱	شکل (۹-۱): چیدمان آزمایش برای اندازه گیری شدت.
۲۲	شکل (۱۰-۱): چیدمان آزمایش، الف) سیستم واقعی، ب) سیستم شبیه ساز رشد.
۲۷	شکل (۱۱-۱): اساس اندازه گیری در بیضی سنجی.
۲۹	شکل (۱۲-۱): الف) طیف عبوری، ب) DFT آن، فرض شده است، نور با قطبش TE در دو زاویه صفر (خط پر) و 30° (خط چین) بر دو لایه ای با $n_1=1.5$ و $d_1=60\mu m$ و $n_2=2$ و $d_2=150\mu m$ تابیده است.
۳۱	شکل (۱-۲): تداخل با تیغه تخت و چشمه گسترده ناهمدوس، فریز های هم شیب توسط عدسی متمرکز می شوند.
۳۲	شکل (۲-۲): فریز های هم شیب.
۳۳	شکل (۳-۲): تداخل به تیغه تخت و چشمه نقطه ای، فریز های جایگزین نشده بر روی پرده تشکیل می شوند.
۳۳	شکل (۴-۲): تداخل از لایه گوی ای، فریز های جایگزیده هم ضخامت داخل لایه تشکیل می شوند.
۳۴	شکل (۵-۲): هندسه تداخل باریکه های واگرا در تیغه با سطوح موازی.
۳۶	شکل (۶-۲): هندسه تداخل باریکه های همگرا در تیغه با سطوح موازی.
۳۸	شکل (۷-۲): هندسه تداخل باریکه های واگرا در تیغه با سطوح موازی و حاوی لایه.
۴۰	شکل (۸-۲): هندسه مورد استفاده در محاسبه شدت انعکاسی از تیغه حاوی لایه.
۴۱	شکل (۹-۲): هندسه تداخل باریکه های واگرا در سیستم چهار لایه ای، دو لایه با ضخامت و ضریب شکست n_s و e_s و n_f و e_f و دو لایه با ضخامت و ضریب شکست n_s و e_s .
۴۱	شکل (۱۰-۲): تغییرات شدت نور منعکس شده در فاصله ۲ متری از تیغه ای با ضخامت (میلیمتر) و ضریب

- شکست ۱/۵ حاوی لایه ای با ضخامت ۰/۱ میلیمتر و ضریب شکست الف) ۱/۶ و ب) ۱/۴. منحنی خط چین تغییرات $\cos\phi_f$ با زاویه است. ۴۴
- شکل (۲-۱۱): تغییرات شدت نور منعکس شده در فاصله ۲ متری از تیغه ای با ضخامت ۱ میلیمتر و ضریب شکست ۱/۵ حاوی لایه ای با ضخامت ۰/۱ میلیمتر و ضریب شکست الف) ۱/۶ و ب) ۱/۴. منحنی خط چین تغییرات $\cos\phi_f$ با زاویه است. ۴۵
- شکل (۲-۱۲): تغییرات شدت نور منعکس شده در فاصله ۲ متری از تیغه ای با ضخامت ۱ میلیمتر و ضریب شکست ۱/۵ حاوی لایه ای با ضخامت ۰/۱ میلیمتر و ضریب شکست الف) ۱/۴۵ و ب) ۱/۴۹. منحنی خط چین تغییرات $\cos\phi_f$ با زاویه است. ۴۶
- شکل (۲-۱۳): تغییرات شدت نور منعکس شده در فاصله ۲ متری از تیغه ای با ضخامت ۱ میلیمتر و ضریب شکست ۱/۵ حاوی لایه ای با ضریب شکست ۱/۴ و ضخامت ۰/۱ میلیمتر وقتی نور فرودی دارای قطبش الف) p ب) s. منحنی خط چین تغییرات $\cos\phi_f$ با زاویه است. ۴۷
- شکل (۲-۱۴): تغییرات ضرایب عبور و انعکاس فرنل (به ترتیب منحنی پر و خط چین) با زاویه در مرز هوا و محیطی با ضریب شکست ۱/۴۳ الف) مد TE و ب) مد TM. ۴۸
- شکل (۲-۱۵): تغییرات شدت نور منعکس شده در فاصله ۲ متری از سیستم چهار لایه ای دارای دو لایه با ضخامت ۱ میلیمتر و ضریب شکست ۱,۵ و دو لایه با ضریب شکست ۱/۶ و ضخامت الف) ۰/۱ میلیمتر و ب) ۰/۱ میلیمتر. منحنی خط چین تغییرات $\cos\phi_f$ با زاویه است. ۴۹
- شکل (۲-۱۶): تغییرات شدت نور منعکس شده در فاصله ۲ متری از سیستم چهار لایه ای دارای دو لایه با ضخامت ۱ میلیمتر و ضریب شکست ۱/۵ و دو لایه با ضریب شکست ۱/۴ و ضخامت الف) ۰/۱ میلیمتر و ب) ۰/۱ میلیمتر. منحنی خط چین تغییرات $\cos\phi_f$ با زاویه است. ۵۰
- شکل (۲-۱۷): منحنی شدت، θ_1 و θ_2 زوایایی هستند که در آن پوش شدت به ترتیب مینیموم و ماکسیموم می شود. ۵۱
- شکل (۳-۱): چیدمان آزمایش، S و SI و L و P و RT و CCD چشمه، شکاف، عدسی، تیغه، میز چرخان و دوربین می باشند. ۵۸
- شکل (۳-۲): دستگاه مورد استفاده در تهیه لایه. ۵۹
- شکل (۳-۳): چیدمان آزمایش ۱- لیزر هلیوم-نئون ۲- پلاریزور، آنالیزور ۳- عدسی ۴- شکاف ۵- میز چرخان و دوربین ۶- مجموعه هولدر و میز چرخان ۷- دوربین CCD ۸- دوربین ۹- رایانه ۶۲
- شکل (۳-۴): نگهدارنده، ۱- پیچ های دوران دهنده، ۲- پیچ جابجا کننده در مقابل نور. ۶۳
- شکل (۳-۵): الف) فریز های ثبت شده، ب) منحنی شدت بر حسب پیکسل، برای تیغه شیشه ای با ضخامت متوسط ۰/۹۶ mm که لایه سیلیکات سدیم بر روی آن نشانده شده است، در زاویه فرود ۱۵ درجه و در فاصله ۸۲/۵ cm از چشمه. هر پیکسل معادل $20 \mu m$ (حدوداً ۰/۰۰۱ درجه). ۶۶

شکل (۳-۶): منحنی برازش شده برالف) ماکسیموم ها وب) مینیموم های شدت بر حسب زاویه فرود بر حسب رادیان ، برای تیغه شیشه ای با ضخامت متوسط 0.96 mm که لایه سیلیکات سدیم بر روی آن نشانده شده است، در فاصله $83/5 \text{ cm}$ از چشمه.

۶۷

شکل (۳-۷): الف) و ج) فریز های ثابت شده در زاویای 22 و 35 ، ب) و د) منحنی شدت بر حسب پیکسل آنها می باشد، برای تیغه شیشه ای با ضخامت متوسط 0.96 mm که لایه سیلیکات سدیم بر روی آن نشانده شده است، در فاصله $83/5 \text{ cm}$ از چشمه. هر پیکسل معادل $20 \mu \text{ m}$ (حدوداً 0.001 درجه).

۶۸

شکل (۳-۸): الف) فریز های ثابت شده، ب) منحنی شدت بر حسب پیکسل ، برای تیغه شیشه ای با ضخامت متوسط $1/12 \text{ mm}$ که لایه آگاروز بر روی آن نشانده شده است، در زاویه فرود 15 درجه و در فاصله $83/5 \text{ cm}$ از چشمه. هر پیکسل معادل $20 \mu \text{ m}$ (حدوداً 0.001 درجه).

۶۹

شکل (۳-۹): منحنی برازش شده برالف) ماکسیموم ها و ب) مینیموم های شدت بر حسب زاویه فرود (بر حسب رادیان)، برای تیغه شیشه ای با ضخامت متوسط $1/12 \text{ mm}$ که لایه آگاروز بر روی آن نشانده شده است، در فاصله $83/5 \text{ cm}$ از چشمه.

۷۰

شکل (۳-۱۰): الف) و ج) فریز های ثابت شده در زاویای $14.40'$ و 26 ، ب) و د) منحنی شدت بر حسب پیکسل آن ها ، برای تیغه شیشه ای با ضخامت متوسط $1/12 \text{ mm}$ که لایه آگاروز بر روی آن نشانده شده است، در فاصله $83/5 \text{ cm}$ از چشمه. هر پیکسل معادل $20 \mu \text{ m}$ (حدوداً 0.001 درجه).

۷۱

شکل (۳-۱۱): الف) فریز های ثابت شده، ب) منحنی شدت بر حسب پیکسل ، برای تیغه شیشه ای با ضخامت متوسط $1/02 \text{ mm}$ که لایه آگاروز بر روی آن نشانده شده است، در زاویه فرود 15 درجه و در فاصله $83/5 \text{ cm}$ از چشمه. هر پیکسل معادل $20 \mu \text{ m}$ (حدوداً 0.001 درجه).

۷۲

شکل (۳-۱۲): الف) منحنی پیوسته تغییرات شدت از زاویه 15 تا 17 درجه ب) منحنی برازش شده بر ماکسیموم ها شدت بر حسب زاویه فرود بر حسب رادیان ، برای تیغه شیشه ای با ضخامت متوسط $1/02 \text{ mm}$ که لایه آگاروز بر روی آن نشانده شده است، در فاصله $83/5 \text{ cm}$ از چشمه.

۷۳

مقدمه

لایه های نازک محدوده ضخامت کمتر از یک نانومتر تا صد میکرون را شامل می شوند. مشخصات لایه از جمله ضریب شکست و ضریب خاموشی و همچنین ضخامت لایه در بسیاری از کاربردها از قبیل وسایل تداخلی (پوشش های ضد بازتاب، آینه های لیزر، پالایه های تکفام)، ایتوالکترونیک، اپتیک مجتمع، مهندسی انرژی خورشیدی، میکروالکترونیک، تکنولوژی سنسورهای نوری، بسیار مهم اند. روش های تعیین ضخامت لایه به دو دسته مخرب و غیر مخرب تقسیم می شوند، هر دسته دارای مزایا و معایبی است و انتخاب روش به عوامل مختلفی چون طبیعت لایه، پارامتری که باید اندازه گیری شود، میزان ناصافی سطح، ضخامت لایه، میزان دقت لازم، مدت زمانی که طول می کشد تا نتیجه اندازه گیری معلوم شود، بستگی دارد. روش های اندازه گیری ضخامت لایه در محدوده ده میکرومتر تا یک میلیمتر محدودند، در این رساله روش نوری جدیدی برای اندازه گیری ضخامت در این محدوده ارائه می شود که اساس آن بررسی تغییر نمایانی فریز های جایگزین نشده با زاویه فرود می باشد.

فصل اول مروری گسترده است بر روش های مختلف اندازه گیری خواص لایه های نازک، ابتدا در مورد لایه نازک و چگونگی تولید آن صحبت می شود و بعد انواع پوشش ها و کاربرد آن ها مرور می گردد. در ادامه انواع روش های اندازه گیری ضخامت و بخصوص روش های نوری موجود بررسی می شود. روش های نوری به شش دسته تقسیم می شود و روش های عملی شرح داده می شود، محدوده کاربرد و دقت این روش ها بیان می شود. این روش ها بر تداخل سنجی، بازتاب سنجی، عبور سنجی، بیضی سنجی، تبدیل فوریه و بلاخره استفاده از اشعه X مبتنی هستند.

در فصل دوم مبانی نظری روش مورد استفاده در این رساله مرور می شود، ضمن توصیف انواع فریز های تداخلی، اختلاف راه نوری پرتو های تشکیل دهنده فریزهای جایگزین نشده در بازتاب از تیغه بدون لایه و با لایه فرمول بندی می شود. در ادامه تغییرات شدت این فریز ها با تغییر زاویه فرود برای چند لایه با ضرایب شکست و ضخامت های مختلف شبیه سازی شده است. نتایج شبیه سازی مورد بررسی قرار گرفته و از آنها برای استخراج معادلاتی برای محاسبه ضریب شکست و ضخامت لایه استفاده شده است.

در فصل سوم کارهای تجربی که شامل کالیبراسیون دوربین CCD، ساخت نگهدارنده و تهیه نمونه و اندازه گیری ضریب شکست و ضخامت لایه است شرح داده می شود. همچنین در این فصل نتایج بدست آمده برای چند نمونه تحلیل شده و در انتها خطاهای آزمایش بررسی شده است. فصل چهارم ضمن نتیجه گیری در مورد مزایای روش حاضر و محدوده کاربرد و دقت آن صحبت می شود و به استفاده های دیگری که از بررسی این نوع فریزها می توان کرد اشاره می شود.

فصل اول

مروری بر روش های مختلف
اندازه گیری ضخامت لایه

۱-۱- مقدمه

علم بررسی خواص ماده چنان گسترده است که امروزه شاخه های متعددی برای مطالعه آن وجود دارد. فیزیک لایه های نازک یکی از آنها است که گسترش قابل ملاحظه ای یافته است و شامل سیستم هایی است که خاصیت مشترک آنها کوچک بودن یکی از ابعاد است. این امر سبب تفاوت خواص چنین سیستم هایی با حالت حجیم^۱ می شود. معمولاً ضخامت لایه ها از چند آنگسترم تا چند صد میکرومتر می تواند تغییر کند. تولید لایه و بررسی خواص آن دو شاخه اصلی تکنولوژی لایه های نازک است.

لایه ها به دو روش عمده کاستی^۲ و افزودنی^۳ و با فرایند های فیزیکی یا شیمیایی تهیه می شوند [۱]. در روش کاستی یک سری از مولفه های تشکیل دهنده سطح از آن جدا شده و در نتیجه آن ترکیب سطح تغییر کرده و خواص متفاوتی با لایه های زیری خواهد داشت. یکی از فرایندهای شیمیایی خیساندن سطح^۴ است، اولین بار در ۱۹۰۴ مشاهده شد که با شستن سطح شیشه با محلول های اسیدی می توان یک سطح ضد بازتاب روی آن بوجود آورد. بمباران کردن سطح با ذرات با انرژی بالا هم به عنوان یک فرایند فیزیکی در تشکیل لایه ها به روش کاستی شناخته شده است. لایه هایی که به روش کاستی تولید می شوند در تماس کامل با زیر لایه می باشند ولی با این روش تنها می توان تک لایه تولید کرد، لایه های تولید شده با این روش از تنوع کمی برخوردار هستند. در روش افزودنی ماده ای روی سطح زیر لایه نشانده می شود، در این روش هم لایه ها با فرایند های شیمیایی یا فیزیکی در شرایط خشک یا مرطوب در خلا یا فشار اتمسفر تولید می شوند. لایه های تولید شده به روش افزودنی از تنوع بیشتری برخوردار هستند و خواص لایه و زیر لایه می تواند خیلی متفاوت از هم باشد.

از جمله روش های افزودنی می توان به روش غوطه وری^۵، روش چرخشی^۶، روش افشانه ای^۷، نشانش بخار شیمیایی^۸ *CVD* و روش نشانش بخار فیزیکی^۹ *PVD* اشاره کرد. [۱]

¹ Bulk² Subtractive Method³ Additive Method⁴ Surface Leaching⁵ Dip Coating⁶ Spin Coating⁷ Spray coating⁸ Chemical Vapor Deposition⁹ Physical Vapor Deposition

در روش غوطه وری ماده لایه نشانی به صورت مایع است (تا اندازه ای ژله ای مانند)، زیر لایه به آهستگی در آن وارد و خارج می شود. اگر سرعت یکنواخت باشد لایه یکنواختی حاصل می شود. روش چرخشی برای تولید لایه های یکنواخت روی زیر لایه های تخت بکار می رود، ماده لایه نشانی به صورت مایع (تا اندازه ای ژله ای مانند) بوده که روی زیر لایه قرار داده می شود، زیر لایه توسط دستگاهی که چرخنده نامیده می شود با سرعت بالا (نوعا در حدود ۳۰۰۰ دور در دقیقه) چرخانده می شود، مایع توسط نیروی گریز از مرکز روی سطح زیر لایه پخش می شود، در حین چرخش قسمتی از حلال تبخیر و لایه به صورت جامد در می آید. ضخامت لایه و دیگر خواص آن به نوع ماده لایه نشانی، چسبندگی آن، آهنگ خشک شدن، غلظت و کشش سطحی ماده و همچنین به سرعت نهایی چرخش، شتاب و میزان خارج شدن بخار از محیط بستگی دارد. ضخامت لایه های تولید شده با این روش می تواند از یک نانومتر تا چندین میلیمتر باشد. لایه نشانی را می توان تکرار کرد تا به ضخامت مطلوب رسید.

در روش افشانه ای، ماده لایه نشانی به صورت ذرات ریز در آمده در اثر حرارت تغییر شیمیایی صورت می گیرد و با سطح زیر لایه واکنش شیمیایی می دهند. واکنش دهنده ها به صورت قطره تا دسته های اتمی می توانند باشند. دما معمولا زیر $500^{\circ}C$ است. دمای زیر لایه پارامتر مهمی در این روش بشمار می آید. با این روش می توان سطوح بزرگی را لایه نشانی کرد.

در روش *CVD* ماده لایه نشانی به صورت بخار است، ذرات بخار به سطح زیر لایه منتقل شده و در سطح با اتم های زیر لایه واکنش داده و لایه در سطح زیر لایه تولید می شود. از این روش برای تولید لایه های مختلف که غالبا در مدار های مجتمع کاربرد دارد استفاده می شود.

در روش *PVD* نیز ماده لایه نشانی به صورت بخار است و لایه با چگالش این بخار در سطح زیر لایه تولید می شود، فرایند اساسا فیزیکی است ولی ممکن است در برخی مواقع واکنش شیمیایی هم رخ دهد.

۲-۱ - خواص لایه های نازک

لایه ها و زیرلایه ها می توانند فلز، نیمه هادی و یا دی الکتریک باشند و خواص مکانیکی، الکتریکی، شیمیایی، نوری و انرژی سطح لایه از روش لایه نشانی و شرایط زیر لایه بسیار تاثیر می پذیرد. بررسی این خواص شاخه دوم تکنولوژی لایه های نازک را به خود اختصاص داده است.

خواص مکانیکی لایه نقش مهمی در بسیاری از کاربرد ها دارد زیرا که پایداری لایه به این خواص وابسته است. یک استرس داخلی در لایه و یا یک چسبندگی^۱ نا کافی به زیر لایه می تواند باعث ترک خوردن، خمش و یا پوسته پوسته شدن سطح شود. بنابر این توجه زیادی برای اندازه گیری این خواص شده است. از دیگر خواص مکانیکی می توان به چگالی و سختی^۲ اشاره کرد [۲].

با گسترش کاربرد لایه های نازک در الکترونیک، خواص مغناطیسی و الکتریکی لایه بسیار مورد توجه است. رسانندگی الکتریکی لایه های فلزی، خواص الکتریکی لایه های نیمه هادی، خواص فرومغناطیسی و غیره و وابستگی آنها به دما، میزان ناخالصی و... به طور وسیعی مطالعه می شود. روش های مختلفی برای بررسی خواص شیمیایی لایه وجود دارد، از میکرو آنالیز شیمیایی کلاسیک گرفته تا روش های آنالیز فیزیکی مدرن. از جمله روش های فیزیکی می توان به طیف سنجی فرابنفش، طیف سنجی جرمی و طیف سنجی الکترون اژه اشاره کرد.

یکی از مهمترین خواص لایه های نازک خواص نوری آن هاست، خواص نوری توسط ضریب خاموشی و ضریب شکست مشخص می شوند. خواص نوری لایه نازک مانند دیگر خواص تا اندازه زیادی از فرایند تولید و شرایط زیر لایه تاثیر می پذیرد، مقادیر ضریب شکست و ضریب خاموشی لایه به ترتیب کمتر و بیشتر از این ثابت ها برای ماده حجیم هستند و در ضخامت های کمتر از 10nm با تغییر ضخامت این ضرایب هم تغییر می کنند، در ضخامت های بزرگتر از 40nm این وابستگی به ضخامت خیلی کم می شود. روش های متنوعی برای بررسی خواص نوری لایه ها وجود دارد که در بخش های بعدی به طور مفصل شرح داده شده است [۱]

۳-۱ - انواع پوشش ها و کاربرد آن ها

پوشش ها انواع مختلف و کاربردهای فراوانی دارند، پوشش های تزئینی، پوشش های نوری، پوشش های ضد زنگ زدگی و پوشش هایی که در میکرو مکانیک کاربرد دارند، از انواع مختلف لایه ها بوجود می آیند.

¹ Adhesion

² Hardness

۱-۳-۱- پوشش های تزئینی

پوشش های تزئینی که به روش کند و پاش^۱ تولید می شوند در تولید ظروف بسته بندی کاربرد دارند و در صنعت از اهمیت بالایی برخوردار هستند. معمولاً این ظروف از شیشه و پلاستیک که مواد ارزان قیمتی هستند تولید می شوند که ظاهر زیبایی ندارند و پوشش هایی از طلا، نقره و برنز روی این سطوح نشانده می شود.

۱-۳-۲- پوشش های نوری

پوشش های نوری در مقایسه با سایر پوشش ها از کاربرد گسترده تر و تنوع بیشتری برخوردار هستند. تولید چنین پوشش هایی از قدمت زیادی برخوردار است، از پیشگامان آن می توان سماکولا^۲، استرانگ^۳ را نام برد [۱].

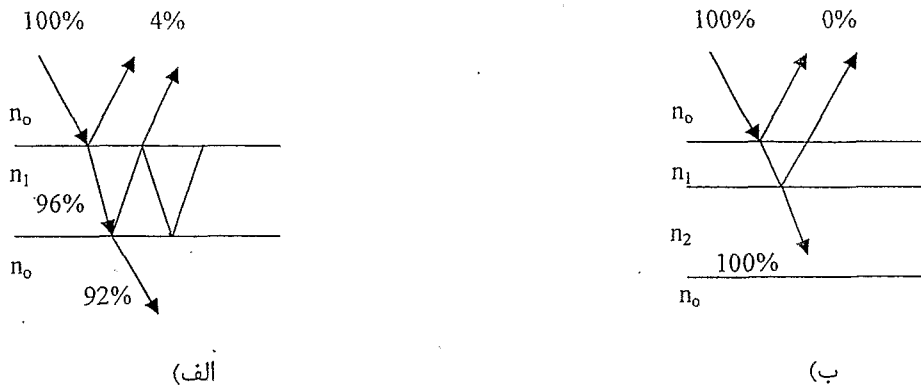
پوشش های نوری با تقسیم نور به سه دسته عبوری، بازتابی و جذبی عمل می کنند. از جمله پوشش های نوری می توان پوشش های ضد بازتاب، آینه ها، فیلتر ها، پوشش های قابل لحیم کاری، پوشش های مرتبط با انرژی و موجبر های صفحه ای را نام برد.

پوشش های ضد بازتاب، پوشش های تک لایه ای که در آن لایه با ضریب شکست n_1 بین دو محیط با ضرایب شکست n_0 و n_2 قرار میگیرد و در صورتی که $n_1 = (n_0 n_2)^{1/2}$ شدت نوری که از سطح رویی و زیری منعکس می شود هم اندازه خواهند بود و دو پرتو نسبت به هم اختلاف فاز π خواهند داشت. اگر ضخامت اپتیکی لایه مضرب درستی از $\lambda/4$ باشد، در این صورت شدت بازتابی صفر خواهد بود. بدین ترتیب یک سطح ضد بازتاب خواهیم داشت (شکل ۱-۱). می توان با در نظر گرفتن شرایط مشابه از چند لایه ای ها هم پوشش های ضد بازتاب ساخت. دسته دیگر پوشش های ضد بازتاب از ناهمسانگردی لایه ناشی می شوند، در شکل ایده آل آن ضریب شکست لایه به طور یکنواخت از سطح زیر لایه تا سطح لایه تغییر می کند، ضخامت اپتیکی به صورت حاصل ضرب ضخامت هندسی در میانگین ضریب شکست ابتدا و انتهای لایه تعریف می شود. چنین لایه هایی در طول موج های کوتاهتر از دو برابر ضخامت اپتیکی کاملاً ضد بازتاب هستند. پوشش های ضد بازتاب در عدسی و منشور دوربین ها و میکروسکوپ ها و مسافت باب ها کاربرد دارد [۱].

¹ Sputtering

² Smakula

³ Strong



شکل (۱-۱): بازتاب نور از سطح، الف) شیشه معمولی، ب) شیشه با لایه ضد بازتاب.

لایه های منعکس کننده نور (آینه ها) مثل لایه های ضد بازتاب از اهمیت بالایی برخوردار هستند. آینه ها به دو دسته آینه های سطح پشتی (سطح دوم به عنوان آینه عمل می کند) و آینه های سطح رویی (سطح اول به صورت آینه عمل می کند) تقسیم می شوند.



شکل (۲-۱): الف) آینه سطح پشتی، ب) آینه سطح رویی.

در تلسکوپ ها و میکروسکوپ ها و هولوگرافی از آینه های سطح رویی استفاده می شود. دسته دیگر از آینه ها، باریکه شکن^۱ ها هستند که به عنوان آینه های نیمه شفاف شناخته شده اند، باریکه شکن ها قسمتی از نور را منعکس و قسمتی را عبور می دهند. از آنها در تداخل سنجی، چاپگر ها و تلویزیون های رنگی استفاده می شود.

^۱ Beam splitter