

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه یزد
دانشکده فیزیک

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
فیزیک اتمی و مولکولی

طراحی و ساخت دستگاه لایه نشانی چرخشی و کاربرد آن
در ساخت دیود شاتکی پلیمری

استادان راهنما:
دکتر غضنفر میرجلیلی
دکتر محمود برهانی

استاد مشاور: دکتر محمد رضا ناطقی

پژوهش و نگارش: حجت امراللهی

مهر ۱۳۸۸

تقدیم بہ:

روح پدرم کہ مهرش بی دریغ و خاطرش آرامش بخش دلتنگی ہایم است

سپاسگزاری

سپاس بی‌کران خدایی را که شب‌تار زندگیم را به فروغ علم و دانش روشنایی بخشید، یگانه‌ای که دل‌پویای حقیقت‌جو را به نور معرفت خویش بیافروخت، هم‌او که به قلم سوگند‌یاد کرد، انسان را به خواندن فراخواند و کلمه را به وی آموخت، هرچند سخن عشق او در کلام نگنجد.

در آغاز لازم می‌دانم از زحمات پدر و مادر گرامی‌ام و کلیه کسانی که در دوران تحصیل همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده‌اند کمال تشکر را بنمایم.

همچنین از زحمات اساتید محترم و دانشجویان صمیمی و مهربان دانشگاه یزد و بخصوص استاد ارجمند جناب دکتر برهانی که همچون پدری مهربان با دلگرمی‌های خود سختی فقدان پدر را بر من آسان نمود تشکر و قدردانی می‌شود. از اساتید محترم جناب آقای دکتر غضنفر میرجلیلی و دکتر محمدرضا ناطقی که با راهنمایی‌های خود راهگشای اینجانب بوده‌اند کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم. همچنین از جناب آقای دکتر عباس بهجت و دکتر فرشید طباح که زحمت داوری این پایان‌نامه را به عهده داشتند تشکر نموده، توفیقات روزافزون ایشان را از خداوند متعال خواستارم.

لازم می‌دانم از کارشناسان دانشکده فیزیک و مسئولین آزمایشگاه فیزیک دانشگاه یزد، مخصوصاً سرکار خانم فلاح که همچون خواهری مهربان و فداکار در همه حال غمخوار من بوده‌اند سپاس‌گزاری نمایم.

در پایان قدردانی ویژه خود را نسبت به پدر مهربانم که با دستهای هنرمند خود مرا در ساخت دستگاه یاری می‌نمود و در تمام لحظات، مشوق و حامی من بود، ابراز می‌نمایم. روحش شاد.

چکیده:

در این پروژه ابتدا به طراحی و ساخت یک نمونه دستگاه لایه نشانی چرخشی جهت تهیه لایه‌های نازک و یکنواخت پلیمری پرداخته می‌شود. سپس لایه نازک ترکیب آلی (PANI+PVC) به روش لایه نشانی چرخشی با سرعت‌های چرخش مختلف و غلظت‌های مختلف تهیه شد. طیف اپتیکی لایه‌ها در ناحیه نور مرئی مورد مطالعه قرار گرفت. ضخامت لایه‌ها طبق پیک طیف جذبی نزدیک به ۳۸۶ nm تخمین زده شد. پیک‌های جذب متناسب با سرعت چرخش و غلظت محلول مورد بررسی قرار گرفت. رابطه بین ضخامت فیلم (h) و سرعت زاویه‌ای دوران (ω) از رابطه $h \propto \omega^{-\frac{2}{3}}$ پیروی می‌کند که با تئوری مکانیسم لایه‌نشانی چرخشی سازگار است. با افزایش غلظت محلول لایه ضخیمتری به دست آمد که این احتمالاً به دلیل افزایش ویسکوزیته سیال می‌باشد. و در نهایت یک نمونه دیود شاتکی تهیه شده از ترکیبات پلی‌آنیلین و پی‌وی‌سی و پلی‌آنیلین و دی‌اکسید تیتانیوم، با اتصال اهمی طلا و اتصال شاتکی آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفت و اثر پارامترهای لایه‌نشانی چرخشی را بر روی مشخصه‌های این نوع دیودها بررسی می‌کنیم.

منحنی مشخصه I-V و C-V دیودهای شاتکی پلیمری تهیه شده یک نوع رفتار یکسوکنندگی را از خود نشان دادند. از روی منحنی مشخصه‌ها، پارامترهای پیوندگاه از قبیل فاکتور ایده‌ال، ارتفاع سد، چگالی جریان اشباع معکوس و نسبت یکسوسازی با استفاده از تئوری گسیل گرمایونی محاسبه شد. نتایج نشان داد، وجود لایه مرزی بین پلیمر نیم‌رسانا و فلز در اندازه ارتفاع سد و فاکتور ایده‌ال تأثیر بسیاری دارد.

همچنین گاف انرژی پلیمرها با استفاده از طیف سنجی UV-vis و طبق نظریه جذب اپتیکی اندازه‌گیری شد. مشاهده شد که نوع پلیمر و درصد ناخالصی تأثیر بسزایی بر روی گاف انرژی و رسانندگی پلیمر دارد.

فهرست

۱	فصل اول فیزیک لایه‌های نازک
۲	مقدمه
۲	۱-۱ معرفی لایه‌های نازک
۲	۲-۱ ساختمان لایه نازک
۴	۳-۱ مراحل تشکیل لایه نازک
۵	۴-۱ روش‌های لایه‌نشانی لایه نازک
۵	۱-۴-۱ روش‌های فیزیکی
۷	۱-۴-۱-۱ لایه‌نشانی به روش تبخیر در خلأ
۹	۲-۴-۱-۱ لایه‌نشانی به روش کندوپاش کاتدی
۱۰	۲-۴-۱ روش‌های شیمیایی
۱۱	۱-۲-۴-۱ سل-ژل
۱۱	۲-۲-۴-۱ لایه‌نشانی شیمیایی در فاز بخار (CVD)
۱۲	۳-۲-۴-۱ رشد فاز مایع (LPE)
۱۳	۳-۴-۱ تهیه لایه‌های نازک پلیمری
۱۴	۵-۱ روش‌های بررسی لایه نازک
۱۴	۱-۵-۱ روش‌های به دست آوردن ضخامت
۱۵	۱-۱-۵-۱ روش‌های اپتیکی برای به دست آوردن ضخامت
۱۷	۲-۱-۵-۱ روش‌های مکانیکی برای به دست آوردن ضخامت
۱۷	۱-۲-۱-۵-۱ روش میکروترازو
۱۷	۲-۲-۱-۵-۱ روش کوارتز ارتعاشی
۱۸	۳-۱-۵-۱ روش‌های الکتریکی برای به دست آوردن ضخامت
۱۸	۲-۵-۱ اندازه‌گیری گاف انرژی لایه‌های نازک
۲۱	فصل دوم: مقدمه‌ای بر لایه‌نشانی چرخشی
۲۲	مقدمه
۲۲	۱-۲ بیان مسأله
۲۳	۲-۲ لایه‌نشانی چرخشی
۲۴	۱-۲-۲ فرایند لایه‌نشانی چرخشی
۲۴	۱-۱-۲-۲ توزیع سیال بر روی زیرلایه

۲۵	..... ۲-۱-۲-۲ شتاب گرفتن زیر لایه
۲۶	..... ۳-۱-۲-۲ سرعت ثابت
۲۶	..... ۴-۱-۲-۲ تبخیر حلال
۲۷	..... ۲-۲-۲ مدل ریاضی لایه‌نشانی چرخشی
۳۳	..... ۳-۲-۲ مطالعات تجربی
۳۶	..... ۴-۲-۲ مزایا و معایب لایه‌نشانی چرخشی
۳۷	..... ۵-۲-۲ پدیده‌های ناشی از لایه‌نشانی چرخشی
۳۷	..... ۱-۵-۲-۲ اثر برآمدگی لبه‌ها
۳۸	..... ۲-۵-۲-۲ اثرات هندسی
۳۸	..... ۳-۵-۲-۲ اثر برنولی
۳۹	..... ۴-۵-۲-۲ رفع پدیده‌های احتمالی
۴۰	..... ۳-۲ اندازه‌گیری
۴۱	..... ۴-۲ اثرات مکانیکی دستگاه لایه‌نشانی چرخشی
۴۳	..... فصل سوم: پیوندهای $p-n$
۴۴	..... مقدمه
۴۴	..... ۱-۳ رسانا یا نارسانا
۴۴	..... ۲-۳ نظریه نواری
۴۶	..... ۳-۳ نارسانا، نیمه‌رسانا و رسانا در نظریه نواری
۴۶	..... ۱-۳-۳ ساختار نواری اجسام نارسانا
۴۶	..... ۲-۳-۳ ساختار نواری اجسام نیمه‌رسانا
۴۶	..... ۳-۳-۳ ساختار نواری اجسام رسانا
۴۷	..... ۴-۳ آرایش نیمه‌رسانا
۵۰	..... ۵-۳ پیوندگاه $p-n$
۵۱	..... ۱-۵-۳ حالت تعادل گرمایی
۵۴	..... ۲-۵-۳ بایاس مستقیم و بایاس معکوس
۵۶	..... ۶-۳ اتصال فلز - نیمه‌رسانا
۵۶	..... ۱-۶-۳ اتصال یکسوکننده ایده‌آل (اتصال شاتکی)
۵۶	..... ۲-۶-۳ اتصال اهمی
۵۷	..... ۳-۶-۳ رابطه نوار انرژی
۵۹	..... ۴-۵-۳ تئوری گسیل گرمایونی

۵۹	..... تعیین پارامترهای شاتکی
۶۰	..... ۱-۷-۳ تعیین پارامترهای شاتکی با استفاده از منحنی مشخصه جریان- ولتاژ (I-V)
۶۰	..... ۲-۷-۳ تعیین پارامترهای شاتکی با استفاده از منحنی مشخصه ظرفیت- ولتاژ (C-V)
۶۱	..... ۳-۷-۳ تعیین پارامترهای شاتکی با استفاده از بستن مقاومت به صورت سری
۶۳	..... فصل چهارم: پلیمرهای رسانا
۶۴	..... مقدمه
۶۵	..... ۱-۴ فیزیک پلیمرها
۶۵	..... ۲-۴ پلیمرهای رسانا
۷۰	..... ۱-۲-۴ کاربردهای پلیمرهای رسانا
۷۳	..... فصل پنجم: وسایل و روش انجام آزمایش
۷۴	..... مقدمه
۷۵	..... ۱-۵ مواد مورد استفاده
۷۶	..... ۲-۵ دستگاه‌ها
۷۶	..... ۱-۲-۵ دستگاه لایه نشانی تبخیر در خلأ
۷۶	..... ۲-۲-۵ دستگاه لایه نشانی چرخشی
۷۷	..... ۳-۲-۵ دستگاه اسپکترومتر دوپرتویی UV-vis
۷۷	..... ۴-۲-۵ اسیلوسکوپ دیجیتالی
۷۸	..... ۵-۲-۵ متر دیجیتالی LCR
۷۸	..... ۳-۵ تهیه محلول‌ها
۷۹	..... ۱-۳-۵ تهیه پلی‌آنیلین رسانا ۰/۴ مولار
۷۹	..... ۲-۳-۵ تهیه محلول پلی‌آنیلین با غلظت‌های مختلف
۷۹	..... ۴-۵ روش انجام آزمایش
۸۰	..... ۱-۴-۵ لایه نشانی طلا
۸۰	..... ۲-۴-۵ لایه‌نشانی پلیمر
۸۰	..... ۳-۴-۵ لایه نشانی آلومینیوم
۸۱	..... ۵-۵ گاف انرژی پلیمر
۸۲	..... فصل ششم: نتایج و بحث
۸۳	..... مقدمه
۸۳	..... ۱-۶ مشخصه یابی فیلم نازک
۸۷	..... ۲-۶ مشخصه جریان - ولتاژ
۸۹	..... ۱-۲-۶ اثر ناخالصی بر مشخصه جریان - ولتاژ

۹۱	..... ۲-۲-۶ اثر بازپخت بر مشخصه جریان - ولتاژ
۹۲	..... ۳-۲-۶ استخراج پارامترهای شاتکی از منحنی مشخصه I-V
۹۵	..... ۴-۲-۶ استخراج پارامترهای شاتکی از منحنی مشخصه C-V
۹۷	..... ۳-۶ اندازه‌گیری گاف انرژی پلیمر
۹۸	..... ۴-۶ بررسی ساختار سطحی و ضخامت لایه‌های پلیمری
۹۹	..... ۵-۶ نتیجه‌گیری

پیوست

مراجع

چکیده انگلیسی

فصل اول

فیزیک لایه‌های نازک

مقدمه

بررسی خواص فیزیکی ماده در طول صد سال اخیر آن قدر پیشرفت کرده است که امروزه علم فیزیک به گروه بزرگی از شاخه های خاص که اغلب شکاف بزرگی هم بین آن وجود دارد، تقسیم شده است. یکی از این شاخه های مهم و مستقل که در سالهای اخیر توسعه یافته، فیزیک لایه های نازک است. این شاخه از فیزیک با سیستم‌هایی سروکار دارد که فقط یک ویژگی مشترک دارند، یعنی آنهایی که یکی از ابعادشان بسیار کوچک است، در حالی که ممکن است سایر خواص چنین سیستم‌هایی و همچنین روش بررسی آنها متفاوت باشد.

۱-۱ معرفی لایه های نازک

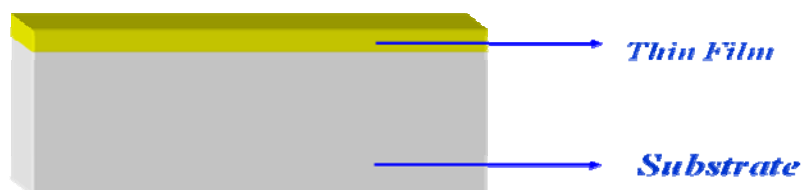
لایه‌های نازک، لایه‌هایی از مواد هستند که معمولاً ضخامتشان کمتر از $1 \mu m$ است و گاهی اوقات به $1 nm$ هم می‌رسد. این لایه های نازک دارای خواص ویژه‌ای هستند که با خواص مواد مربوطه آنها در حالت حجمی به میزان قابل ملاحظه‌ای متفاوت است که این تفاوت به واسطه ابعاد فیزیکی، شکل هندسی و ساختار ریز آنها به وجود می‌آید.

۲-۱ ساختمان لایه نازک

وقتی گفته می‌شود یک جامد در شکل «لایه نازک» است. یعنی اینکه به صورت لایه‌ای با ضخامت کم بر روی یک نگهدارنده^۱ (زیرلایه) تشکیل شده باشد (شکل ۱-۱). این عمل ممکن است مستقیماً به وسیله یک فرایند فیزیکی و یا از طریق یک واکنش شیمیایی یا الکتروشیمیایی صورت بگیرد. پارامتر ضخامت در قطعات الکترونیکی از قبیل مقاومت‌ها و خازن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. برای مثال فرض می‌کنیم مقاومتی داریم که از یک سیم بلند به طول $500 cm$ و

^۱ Substrate

قطر 0.1 cm ساخته شده است. مطمئناً در یک مدار الکتریکی کوچک نمی‌توان از این سیم بلند به عنوان مقاومت استفاده کرد، در عوض می‌توان از یک لایه نازک از همان ماده با عرض 0.1 cm و ضخامت 100 nm که طول آن 0.5 cm است، استفاده کرد. در زمینه اپتیک نیز لایه‌های با ضخامت کمتر از طول موج نور (100 nm) برای ساخت قطعات بازتاب کننده و عبور دهنده مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین ساخت لایه‌های نازک در همه انواع تکنولوژی، بخصوص در صنعت الکترونیک برای کوچک کردن قطعات از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱]. در اینجا فقط ضخامت کم این لایه‌ها نیست که خواص ویژه و برجسته لایه نازک را به وجود می‌آورد بلکه ساختار ریز این لایه‌ها نیز دارای اهمیت بیشتری خواهد بود.



شکل (۱-۱): موقعیت لایه و زیرلایه نسبت به هم

اصلی‌ترین مشخصاتی که در هر روش لایه نشانی لایه‌های نازک، باید مورد توجه قرار گیرد، عبارت است از:

- (۱) آهنگ لایه نشانی
- (۲) یکنواختی لایه
- (۳) موادی که می‌توان بر روی آنها لایه نشانی انجام داد شامل
 - فلز
 - پلیمر
 - شیشه

(۴) کیفیت خواص شیمیایی و فیزیکی لایه:

(۵) دستورالعمل لایه نشانی

۶) مخارج تهیه لایه

۷) زیرلایه‌ها و آماده‌سازی آن‌ها:

زیرلایه‌ها به عنوان نگهدارنده مکانیکی لایه نازک عمل می‌کند و در کاربردهای الکترونیکی معمولاً نقش عایق را نیز دارد. نیاز به پایداری طولانی مدت زیرلایه‌های لایه نازک ایجاب می‌کند که هیچ نوع واکنش شیمیایی که قادر به تغییر خواص لایه نازک باشد، اتفاق نیفتد.

متداول‌ترین زیرلایه‌هایی که برای لایه‌های چندبلوری به کار می‌روند، شیشه، سیلیسیوم گداخته و سرامیک‌ها هستند. مواد آلی هم مورد بررسی قرار گرفته‌اند (مانند میلار یا تفلون) که مزیت آن‌ها در پایین بودن چگالی آن‌هاست، اما نمی‌توانند دمای زیادی را تحمل کنند، و بنابراین در مواد خاص مورد استفاده قرار می‌گیرد.

زیرلایه‌های سرامیکی که برتری آن‌ها نسبت به زیرلایه‌های شیشه‌ای، در مقاومت‌های مکانیکی و گرمایی بالاتر و رسانندگی گرمایی آن‌هاست از لحاظ صافی سطح از کیفیت پایین‌تری برخوردارند [۲].

۳-۱ مراحل تشکیل لایه نازک

هر فرایند تشکیل لایه نازک شامل ۳ مرحله می‌باشد:

(۱) تولید ذرات در مقیاس اتمی، مولکولی و یا یونی

(۲) انتقال این ذرات به سطح بستر^۱ یا زیرلایه

(۳) چگالش بر روی زیرلایه

^۱ Substrate

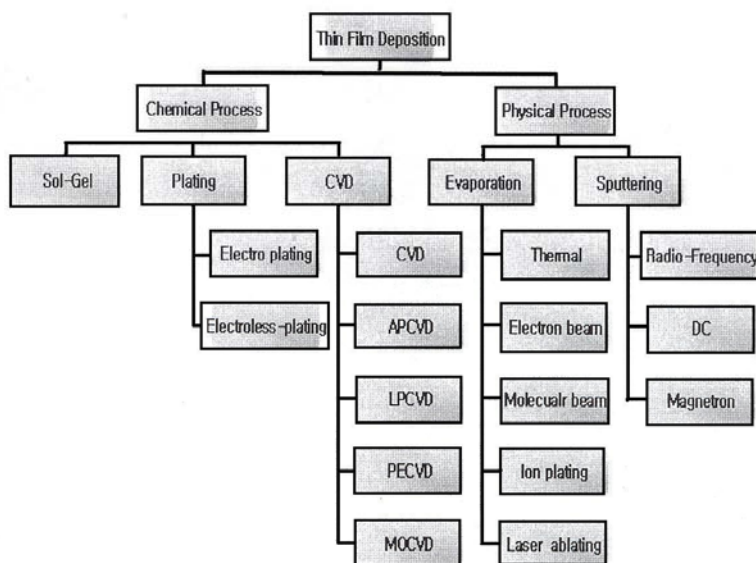
برای ساخت لایه‌های نازک روش‌های مختلفی وجود دارد که در این فصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۴-۱ روش‌های لایه نشانی لایه‌های نازک

برای لایه نشانی، لایه‌های نازک، روش‌های متنوعی وجود دارد که در شکل (۲-۱) آمده است. این روش‌ها را می‌توان به دو گروه دسته بندی کرد.

(۱) روش‌های شیمیایی

(۲) روش‌های فیزیکی



شکل (۲-۱): روش‌های مختلف لایه نشانی لایه‌های نازک [۱]

۱-۴-۱ روش‌های فیزیکی

مهمترین روش‌های فیزیکی برای تهیه لایه نازک، روش تبخیر فیزیکی^۱ (PVD) می‌باشد.

این روش جهت لایه نشانی طیف گسترده ای از مواد از قبیل فلزات، نیمه‌رساناها، سرامیکها،

دی الکتریک ها و پلیمرها مورد استفاده قرار می گیرد.

¹ Physical Vacuum Deposition

لایه‌نشانی به روش تبخیر فیزیکی شامل مراحل زیر است.

(۱) تبدیل ماده به حالت گاز یا از طریق تبخیر یا تصعید یا کندوپاش کاتدی؛

(۲) انتقال اتم‌ها (مولکول‌ها) از چشمه تبخیر به زیرلایه، در فشار کاهش یافته؛

(۳) لایه‌نشانی این ذره‌ها روی زیر لایه؛

(۴) بازآرایی یا تعدیل پیوند اتم‌ها روی سطح زیر لایه.

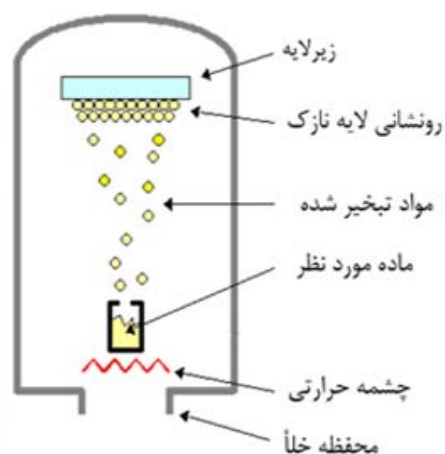
تمام این مراحل داخل محفظه خلأ با فشار 10^{-5} mbar و یا در حضور گازهای خنثی صورت می‌گیرد.

در شکل (۱-۳) شماتیکی از مراحل لایه‌نشانی به شیوه تبخیر فیزیکی نشان داده شده است.

لایه‌نشانی به شیوه تبخیر فیزیکی عمدتاً به دو روش صورت می‌گیرد.

(۱) تبخیر در خلأ^۱

(۲) کندوپاش^۲



شکل (۱-۳): مراحل لایه‌نشانی به شیوه تبخیر فیزیکی

¹ Vacuum Evaporation

² Sputtering

پارامترهایی که می‌شود در این شیوه کنترل کرد، تا به هدف تعیین شده رسید، عبارت است از:

(۱) انرژی جنبشی اتم‌های بخار شده

(۲) دمای زیرلایه

(۳) آهنگ لایه نشانی لایه‌های نازک

(۴) انرژی افزایشی که در طی لایه نشانی فیلم به کار برده می‌شود

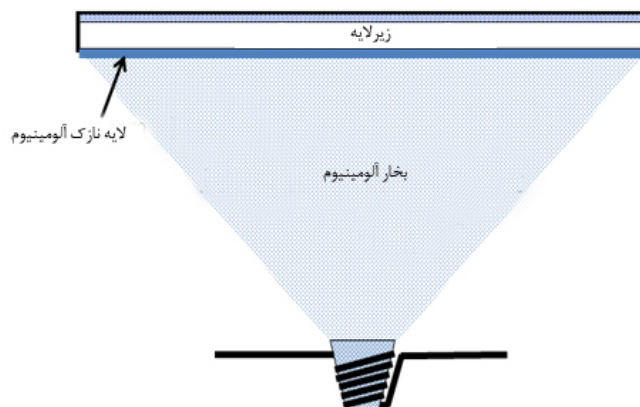
(۵) گازهای پراکنده شده در طی انتقال بخار

بوسیله تغییر دادن این پارامترها در لایه نشانی، می‌توان لایه‌های نازکی تهیه کرد که استحکام مکانیکی، جذب و بازتاب اپتیکی، مقاومت الکتریکی و خواص مغناطیسی و چگالی متفاوتی داشته باشد.

۱-۴-۱ لایه نشانی به روش تبخیر در خلاء

در لایه نشانی لایه‌های نازک به روش تبخیر، با ایجاد شرایط آزمایشی مناسب ماده مورد نظر را در داخل یک بوته یا بسکت از جنس فلز دیرگدازی مانند تنگستن، مولیبدن یا تانتالیوم ریخته و با عبور جریان الکتریکی و گرم کردن آن، ماده مورد نظر را تبخیر می‌کنند. با این روش می‌توان لایه‌های بسیار خالص و تا حدی دقیق با ساختمان از پیش تعیین شده‌ای را تهیه کرد.

(شکل ۱-۴)

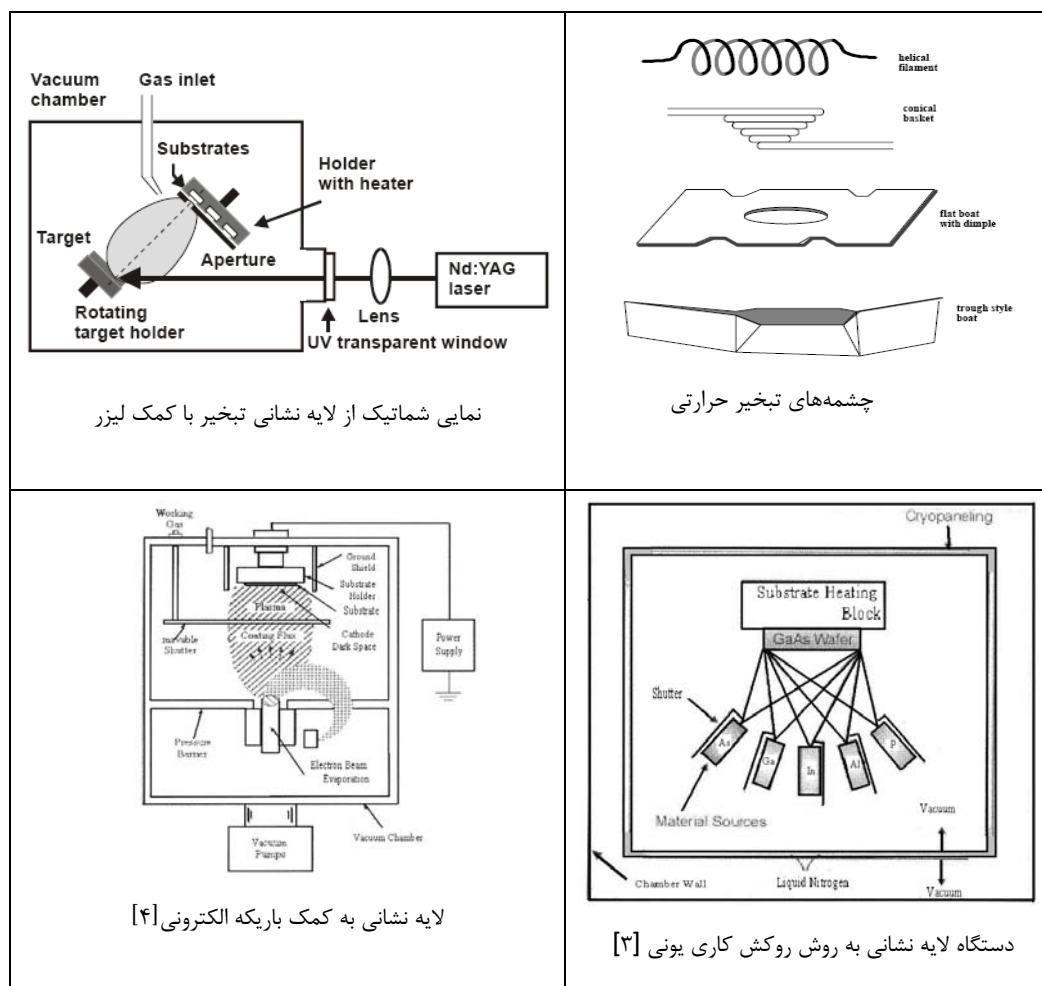


شکل (۱-۴): تشکیل لایه نازک به روش تبخیر حرارتی

برای تبخیر ماده‌ای که قرار است بر روی زیرلایه، لایه نشانی شود روش های معمول زیر

وجود دارد. (شکل ۱-۵)

- تبخیر به کمک مقاومت گرم کننده^۱
- تبخیر به کمک باریکه الکترونی^۲
- تبخیر به کمک روکش کاری یونی^۳
- تبخیر به کمک باریکه مولکولی^۴
- تبخیر به کمک لیزر^۵



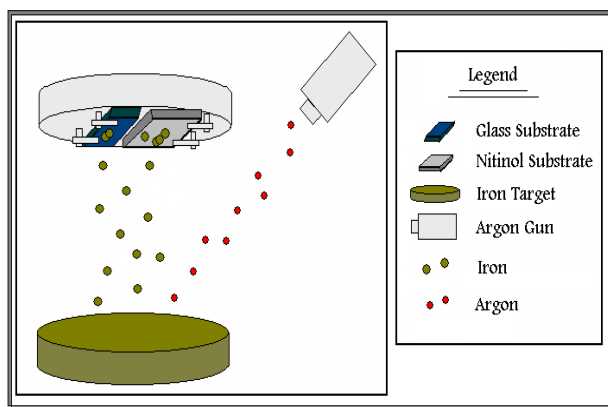
شکل (۱-۵): تبخیر ماده در خلا با روش‌های مختلف

¹ Thermal Evaporation
² Electron Beam Evaporation
³ Ion Plating Evaporation
⁴ Molecular Beam Evaporation
⁵ Laser Ablating

۲-۱-۴-۱ لایه نشانی به روش کندوپاش کاتدی

یکی از روشهای متداول و بسیار مناسب برای پوشش دهی طیف وسیعی از مواد و آلیاژها، استفاده از روش کندوپاش کاتدی یا اسپاترینگ می باشد. از مزایای این روش عدم گرم شدن سطح زیر لایه توسط پلاسما است، که این قابلیت را ایجاد می کند تا بتوان زیر لایه هایی که نسبت به دما حساس هستند مانند پلاستیکها و پلیمرها را لایه نشانی کرد. پدیده کندوپاش در سال ۱۸۵۲ میلادی کشف شد. این روش به زودی کاربردهای در ساخت آینه ها و وسائل تزینی پیدا کرد و در حدود سال ۱۹۳۰ میلادی لایه های رسانای الکتریکی از نوع طلا تهیه شدند. از دهه ۱۹۶۰ تاکنون، روش کندوپاش پیشرفت های بسیاری کرده است.

ساده ترین آرایش به منظور انجام کندوپاش کاتدی را می توان به صورت شکل (۱-۶) نشان داد. در این روش لایه نشانی به کمک مگنترون اسپاترینگ، با اعمال یک ولتاژ منفی به کاتد که ماده کندوپاش شونده است در محدوده فشار 10^{-6} - 10^{-4} mbar در اتمسفر گاز آرگون، با یونیزه شدن این گاز و شتاب گرفتن، یون های گاز آرگون به سطح هدف برخورد کرده و یون ها با انرژی بین ۴-۶ الکترون ولت از سطح هدف کنده شده و به سمت آند که زیر لایه ای در مجاورت آن قرار دارد چگالیده می شود و عمل لایه نشانی انجام خواهد شد.



شکل (۱-۶): طرح ساده ای از سیستم کندوپاش

مقدار ماده کندوپاش شده، Q ، در واحد زمان، تحت شرایط ثابت، با عکس فشار گاز P و فاصله آند-کاتد d متناسب است: