دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال پانزدهم، شماره‌ی ۵۷
بهار ۱۴۰۳، صفحات ۶۹-۵۵

**"مقاله پژوهشی"**

# مطالعه روش‌های ساخت لایه‌های نازک و کاربردهای آن‌ها در مسائل محیط زیست

**حسن آبسالان***

گروه فیزیک، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران
Email: absalanh@gmail.com

(دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴ پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۲/۰۸)

## چکیده

در این مقاله، تکنیک‌های مختلف ساخت لایه‌های نازک و همچنین کاربردهای آن‌ها در مسائل محیط زیست مورد مطالعه قرار گرفته است. ضخامت لایه‌های نازک معمولاً در محدوده بین ۵۰ و ۵۰۰۰ آنگستروم قرار می‌گیرد. روش‌های ساخت لایه‌های نازک، عمدتاً به دو صورت فیزیکی و شیمیایی انجام می‌گیرد. با کاهش ضخامت یک لایه نازک، رسانایی الکتریکی آن، کاهش و مقاومت الکتریکی آن، افزایش می‌یابد. همچنین کاهش ضخامت لایه، منجر به کاهش شدت مغناطیسی آن می‌گردد. از طرف دیگر، به علت افزایش میزان سطح به حجم در لایه‌های نازک، سرعت تغییر دما و واکنش شیمیایی نسبت به حالت توده‌ای افزایش می‌یابد. از جمله عوامل مؤثر بر کیفیت یک لایه نازک می‌توان به ساختار زیرلایه، سرعت لایه نشانی، دمای زیرلایه و نوع خلاء اشاره کرد.

**کلمات کلیدی:** لایه‌های نازک، روش‌های ساخت، ویژگی‌ها و کاربردها، محیط زیست

**مقدمه**

یکی از مهم‌ترین مسائل دنیای امروز، آلودگی محیط زیست به مواد خطرناک می‌باشد. گازهای خارج شده از صنعت و وسایل نقلیه، رتبه اول در ایجاد آلودگی را دارند. از طرف دیگر، فلزات سنگین، نیترات‌ها و پلاستیک‌ها، سمی هستند و باعث آلودگی می‌شوند. آلودگی هوا، ناشی از گازها و سموم مختلفی است که توسط صنایع و کارخانجات و از ترکیب سوخت‌های فسیلی منتشر می‌شود. کاربرد گسترده فلزات سنگین در صنایع باعث شده است که غلظت این فلزات در آب، فاضلاب، هوا و خاک بیش‌تر از مقادیر زمینه‌ای افزایش پیدا کند. مکانیزم اثر سمیت فلزات سنگین، ناشی از تمایل شدید کاتیون‌های این فلزات به گوگرد و بدین طریق مختل کردن فعالیت آنزیم‌های حیاتی در موجودات زنده می‌باشد، بنابراین حذف فلزات سنگین از محیط آبی، موضوع مهمی در بهداشت عمومی جامعه محسوب می‌شود. همچنین گاز دی اکسید کربن به عنوان یکی از آلاینده‌های موجود در هوا، از منابع آلودگی محیط زیست به شمار می‌رود که می‌توان با انتخاب یک روش مناسب، آن را از بین برد. یکی از این روش‌ها، استفاده از لایه‌های نازک در صنعت می‌باشد.

به طور کلی لایه، به ماده‌ای گفته می‌شود که به صورت پوششی بر یک سطح یا ماده (زیرلایه) می‌نشیند و باعث ایجاد ویژگی‌های الکتریکی، اپتیکی و مکانیکی سطحی جدیدی می‌شود که خواص سطحی زیر لایه را ارتقاء می‌بخشد. معمولاً در فیزیک حالت جامد، مواد را به صورت توده‌ای مورد بررسی قرار می‌دهند. در عموم روش‌های لایه‌نشانی، هنگامی که ماده از حالت توده‌ای به صورت اتم‌ها، مولکول‌ها یا یون‌های مجزا در می آید و روی سطح زیرلایه می‌نشیند، پوششی ایجاد می‌شود که آن را لایه می‌نامند. این لایه بر روی سطح قطعات و مواد دیگر قرار گرفته و به آن خصوصیت ویژه و جدیدی را می‌بخشد. معمولاً اگر لایه تشکیل شده، نازک باشد، خواص فیزیکی جدیدی از خود بروز می‌دهد که با خواص همان لایه به صورت توده‌ای متفاوت است که به این ترتیب می‌توان قابلیت‌های جدیدی به محصول افزود. لایه‌های نازک، لایه‌هایی هستند که ضخامت آن ها بین ۵۰ تا ۵۰۰۰ آنگستروم می‌باشد [۱]. به بیان دیگر لایه‌های نازک، لایه‌های با دقت اتمی طراحی شده‌ای از انواع مواد اعم از فلزات، عایق‌ها، نیمه‌رساناها هستند. لایه‌های نازک را می‌توان در دسته پوشش‌های نانو ساختار دسته‌بندی کرد. لایه‌های نازک، از دو ویژگی مهم برخوردار هستند. اولین ویژگی، ضخامت زیرمیکرونی آن است که هر چه به اندازه نانو نزدیک‌تر شود، ویژگی‌های متفاوت‌تری را برای لایه به وجود می‌آورد. دومین ویژگی، این است که لایه‌ها می‌توانند سطوح فوق العاده بزرگی نسبت به ضخامت داشته باشند. این دو ویژگی باعث پدید آمدن خواص متفاوت‌تر و کاربردی می‌شوند.

به منظور ساخت یک لایه نازک، می بایست به گونه ای اتم‌ها و یا مولکول‌های مورد نظر را از چشمه بر روی جسم دیگری، که زیرلایه نامیده می‌شود، فرستاد. اتم‌هایی که از چشمه به سمت زیرلایه حرکت می‌کنند و به نزدیکی آن می‌رسند، ممکن است بصورت یکتایی در فاز بخار باشند و یا بصورت دو تایی و یا بیش‌تر. هر کدام از این ها احتمال دارد به سطح نزدیک شده و توسط آن جذب گردند. در این حالت، بلافاصله از روی سطح برخیزند و یا مدتی روی سطح شروع به

حرکت کنند تا انرژی خود را به سطح داده و در مکانی مستقر شوند و یا اینکه از سطح برخیزند. اتم‌هایی که مستقر شده‌اند، با یکدیگر تشکیل خوشه‌های بزرگ-تری را می‌دهند که البته این خوشه‌ها با بزرگ‌تر شدن، می‌توانند منجر به تشکیل هسته‌های پایدار شوند. هسته‌های تولید شده در محل خود شروع به رشد در دو یا سه بعد می‌کنند که معمولاً در این حالت میزان ایجاد هسته‌های جدید، به سرعت کاهش می‌یابد و همه اتم‌هایی که به سطح می‌رسند، جذب هسته‌های قبلی می‌گردند و به رشد آن‌ها کمک می کنند. با بزرگ‌تر و نزدیکتر شدن هسته‌های مجاور به هم، این هسته‌ها در هم ادغام شده و جزایری بر روی سطح بوجود می‌آورند و نهایتاً با ادامه یافتن رشد، یک لایه پیوسته برروی سطح زیرلایه بوجود می‌آید.

لایه‌های نازک بسته به طبیعت زیرلایه، میزان تبخیر و ماده لایه می‌توانند به صورت بی‌شکل، پلی کریستالی و تک کریستالی رشد کنند. پدیده‌هایی که موجب افزایش تحرک اتم‌های جذب شده به سطح می‌شوند، باعث بزرگ‌تر شدن دانه‌های لایه‌ها می‌گردند. این پدیده می‌تواند در اثر افزایش دمای زیرلایه بوقوع بپیوندد و برعکس، کاهش دمای زیرلایه، باعث کوچک‌تر شدن اندازه‌های دانه‌ها می‌گردد. همچنین ناخالصی‌ها و نابجایی‌های روی سطح نیز می‌توانند موجب کاهش تحرک اتم‌ها گردند. در طی رشد لایه-های نازک، اغلب فازهای ناپایدار شکل می‌گیرند که در حجم صورت نمی‌گیرد. این فازها با افزایش ضخامت لایه از بین می‌روند. تحت یکسری شرایط ویژه، لایه‌های ضخیم می‌توانند با فاز ناپایدار رشد کنند. اگر لایه‌ای روی یک زیرلایه تک کریستالی رشد داده شود، اغلب می‌توان یک رابطه درونی بین جهت گیری لایه و زیرلایه مشاهده کرد. این پدیده را، رونشانی می‌گویند. تحت شرایط مطلوب می‌توان کل لایه را بصورت تک کریستال رشد داد.

در سال‌های اخیر، علم لایه‌های نازک در میان سایر علوم رشد قابل ملاحظه‌ای داشته و حجم وسیعی از تحقیقات را به خود اختصاص داده است. بی‌شک رشد چشم‌گیر ارتباطات، پردازش اطلاعات، ذخیره‌سازی، صفحه‌های نمایش، صنایع تزئینی، ابزارآلات نوری، مواد سخت و عایق‌ها، نتیجه تولید لایه‌های نازک براساس فناوری‌های نوین می‌باشد. علاوه بر اهمیت کاربردی، لایه‌های نازک نقش مهمی در توسعه و مطالعه مواد با ویژگی‌های جدید و منحصر به فرد ایفا می‌کنند. در ساخت لایه‌های نازک نیز در سال‌های اخیر تحولات وسیعی صورت گرفته است که خود ناشی از پیشرفت در فناوری خلاء، تولید میکروسکوپ‌های الکترونی و ساخت وسایل دقیق و پیچیده‌ی شناسایی مواد است. همچنین باز شدن مباحثی نظیر میکروالکترونیک، اپتیک و نانوتکنولوژی مدیون اهمیت پوشش‌های لایه نازک می‌باشد. ایجاد لایه‌های نازک بر روی زیرلایه‌ها، موجب بهبود ویژگی‌های سطحی آن‌ها، شامل ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی، الکتریکی و اپتیکی مطلوب، مانند رسانش، مقاومت در برابر خوردگی، انعکاس و یا سختی بیشتر بر سطح ماده می‌شود.

لایه‌های نازک با دارا بودن ویژگی‌های مهم و منحصر بفرد، کاربردهای فراوانی در صنعت و فناوری‌های نوین دارند. برخی از ویژگی‌ها، شامل افزایش مقاومت ویژه، ایجاد پدیده تداخل نور، پدیده تونل زنی، مغناطیس شدگی سطحی، تغییر دمای بحرانی ابررساناها می‌باشد. با توجه به عملکرد و

خواص لایه‌های نازک، می‌توان از آن‌ها جهت بهبود تکنولوژی‌هایی نظیر سلول‌های خورشیدی، حسگرها، کاربردهای نوری، مهندسی الکترونیک و فروالکترونیک نیز استفاده نمود. امروزه کاربرد لایه‌نشانی در صنایع، موضوع توسعه یافته‌ای است، به گونه‌ای که بخش بزرگی از زندگی مدرن را مدیون توسعه صنعت لایه‌نشانی می‌دانند [۱-۲]. اهمیت لایه‌های نازک در ساخت قطعات مدرن و پیچیده نیز به چشم می‌آید.

## فیزیک لایه‌های نازک

در زمان لایه نشانی، فرآیند رشد لایه‌های نازک، همانند حالت توده‌ای مواد، بصورت یک صفحه کامل نیست. وقتی با حجم ماده مقایسه می‌شود، خواص فیزیکی لایه نازک بر روی زیرلایه، به شدت ممکن است متفاوت باشد که این امر وابسته به ساختار و مورفولوژی آن است. ویژگی‌هایی مانند اندازه دانه، شکل و جهت، مرتبط با مراحل رشد لایه تعیین می‌شود و می‌تواند متأثر از شرایط لایه‌نشانی باشد. فرآیند رشد اتمی به این صورت است که در ابتدا یک ذره از فاز بخار، متراکم می‌شود که ممکن است بلافاصله تبخیر مجدد شود و یا در میان سطح، نفوذ کند. عمل نفوذ نیز ممکن است به جذب در مکان‌های خاصی انجام پذیرد. در حین فرآیند رشد، برای بدست آوردن لایه‌ای با سطح صاف، به تحرک پذیری سطحی مناسب و به اندازه و همچنین به دمای بالا نیاز می‌باشد. برای تشکیل لایه، ماده اولیه سه مرحله اساسی را طی می‌کند. در مرحله اول، ماده اولیه به ذره‌های اتمی، مولکولی یا یونی تبدیل می‌شود. سپس در مرحله دوم، فاصله بین منبع تا زیرلایه را طی می‌کند و در مرحله آخر، چگالش ذرات بر روی زیرلایه و تشکیل یک لایه جامد صورت می‌گیرد. چگالش لایه‌های نازک به شکل‌های مختلفی رخ می‌دهد که هر شکل آن به عوامل متعددی وابسته است که از آن دسته می‌توان به برهمکنش بین اتم‌های لایه‌ی در حال رشد و اتم‌های لایه و زیرلایه اشاره کرد.

با توجه به نوع کاربرد لایه‌های نازک می‌توان کیفیت ساخت آن ها را تغییر داد. از عواملی که در کیفیت لایه نازک موثرند می‌توان به سرعت لایه‌نشانی، دمای زیرلایه، نوع خلاء، ساختار زیرلایه و تطابق آن با لایه اشاره نمود. در مورد سطح مشترک لایه و زیرلایه، بایستی مرز مشترک آن عاری از آلودگی و ناخالصی باشد و ناصافی آن به حداقل ممکن خود برسد تا اتصال در سطح مشترک به خوبی صورت گیرد. در مورد ساختار نیز، نظم اتمی لایه و زیرلایه می‌تواند نقش مهمی در ویژگی‌های لایه نازک داشته باشد. همچنین خواص شیمیایی به دلیل ایجاد واکنش شیمیایی که ممکن است بین اتم‌های لایه و زیرلایه صورت بگیرد، بایستی به دقت مورد بررسی قرار گیرد. در حیطه خواص حرارتی، نزدیکی ضریب انبساط حرارتی لایه و زیرلایه موضوع حائز اهمیتی است تا لایه ایجاد شده بر روی زیرلایه چروکیده یا پاره نشود. همچنین در برابر شوک‌های حرارتی بایستی مقاوم باشند و در مورد خاصیت مکانیکی، لایه و زیرلایه بایستی از استقامت مکانیکی خوبی برخوردار باشند [۱].

لایه‌های نازک، ویژگی‌های منحصر بفردی دارند که متفاوت از ویژگی‌های حالت توده‌ای مواد تشکیل‌دهنده آن‌ها می‌باشد. این ویژگی‌ها، شامل ویژگی‌های الکتریکی، مغناطیسی، اپتیکی، مکانیکی و غیره می‌باشد. ویژگی‌های اشاره شده، به پارامترهایی

مانند روش ساخت، دما، کیفیت و نوع زیرلایه بکار رفته وابسته است. یکی از ویژگی‌های مهم لایه‌های نازک، ویژگی‌های مکانیکی آن‌ها می‌باشد. رفتار مکانیکی لایه‌های نازک، مانند استحکام و چسبندگی آن‌ها، نقش بسزایی در کارایی لایه‌های نازک دارد. عوامل مؤثر بر ویژگی‌های مکانیکی، شامل اندازه و شکل دانه‌های تشکیل شده درون لایه‌ها، نا بجایی‌ها، اختلالات و غیره می‌باشد. غلظت بالای نابجایی‌ها و عدم تحرک آن‌ها در لایه نازک سبب افزایش خواص مکانیکی نظیر سختی و مقاومت به سایش آن‌ها می‌شود که قابل مقایسه با حالت حجمی ماده نیست. همچنین، بدلیل افزایش شدید غلظت نابجایی‌ها، تنش در ساختار لایه نازک ایجاد می‌شود. از آنجاییکه که اکثر روش‌های ساخت لایه های نازک در دمای بالاتر از دمای محیط صورت می‌پذیرند، یک تنش در این لایه‌ها ایجاد می‌شود [۲-٤].

تنش در لایه‌های نازک به دو نوع تنش حرارتی و تنش ذاتی تقسیم می‌شود. تنش حرارتی به این دلیل ایجاد می‌شود که اکثر فرایندهای لایه‌نشانی در دمای بالا انجام می‌شود و چون مواد مختلف، ضرایب انبساط گرمایی متفاوتی دارند، در هنگام لایه‌نشانی بین لایه و زیرلایه این تنش ایجاد می‌شود. تنش ذاتی نیز به عواملی مانند فرایندهای رشد غیر تعادلی بستگی دارد که موجب تشکیل ساختارهای غیر تعادلی می‌شود. از دیگر ویژگی‌های مکانیکی لایه‌های نازک، تنش کششی لایه است که هر چه میزان آن بزرگ‌تر باشد، لایه سخت‌تر کشیده می‌شود. تشکیل لایه اکسیدی بر روی لایه می‌تواند باعث افزایش استقامت کششی لایه گردد [۵].

مطالعه ویژگی‌های مکانیکی لایه‌های نازک می‌تواند ما را به درک بهتر و عمیق‌تری از رفتار توده مواد برساند. در عمل، مناسب بودن عملکرد قطعاتی که در آن ها از عمل لایه نشانی استفاده شده است، به شکل و ترتیب قرار گرفتن لایه‌های پایدار، که می‌توانند در برابر تأثیرات محیط زیست تاب بیاورند، بستگی دارد. ویژگی‌های مکانیکی لایه‌های نازک، عمدتاً به عوامل مؤثر در آماده‌سازی آن‌ها وابسته است. به دلیل مشکلات تجربی و محدودیت‌های موجود در ساخت لایه‌ها، بیش‌تر مطالعات انجام یافته، بر روی ویژگی-های مکانیکی لایه‌های چند بلوری و لایه‌های فلزی بوده و این، به خاطر ساختار مختلط بیشتر لایه‌ها است. از طرف دیگر، به مواد دی الکتریک که در قطعات الکتریکی و اپتیکی گوناگون اهمیت دارند نیز توجه شده است.

بررسی ویژگی‌های الکتریکی مواد عمدتاً براساس نظریه نوار انرژی صورت می‌گیرد که در آن، ترازهای انرژی الکترونی و چگالی حالت‌ها، فلز یا نیمه‌رسانا و یا عایق بودن ماده را تعیین می‌کنند. این ترازهای انرژی، در سطوح مربوط به لایه‌ای نازک و حالت توده‌ای مواد با هم تفاوت دارد. بعبارت دیگر، برخی از ترازهای ممنوعه انرژی در حالت توده‌ای مواد، تبدیل به ترازهای گسسته مجاز می‌شوند. از طرف دیگر، در فصل مشترک دو سطح با یکدیگر، برهمکنش موجود می تواند ترازهای انرژی دیگری را تحت تأثیر قرار دهد. این امر می‌تواند در بکارگیری لایه‌های نازک در اتصالات بین قسمت‌های مختلف مدارهای مجتمع، وسایل میکروالکترونیک و الکترونیک، مورد مطالعه قرار گیرد.

با توجه به کاهش تعداد حامل‌های بار در لایه نازک و همچنین کاهش ضخامت لایه، حرکت الکترون‌ها در آن محدود می‌شود و الکترون‌ها با انحراف اندکی که از مسیر حرکتشان پیدا می کنند، باعث کاهش رسانایی می‌شوند. بر این اساس، با کم‌تر شدن ضخامت لایه نازک نسبت به طول مسافت آزاد میانگین آن، الکترون‌ها دائماً با دیواره لایه نازک برخورد کرده و این امر موجب کاهش رسانایی ماده و افزایش شدید مقاومت الکتریکی لایه نازک می‌شود. مقاومت الکتریکی لایه‌های نازک فلزی، بیش‌تر از حالت حجمی ماده است و این میزان، با افزایش ضخامت لایه نازک، کاهش پیدا می‌کند. از طرف دیگر، خواص الکتریکی لایه‌های نازک، شدیداً به مورفولوژی آن‌ها وابسته است. تحقیقات نشان می‌دهند که لایه‌های نازک منسجم، دارای بالاترین رسانایی و لایه‌های با ذرات جدا از هم، دارای پایین‌ترین میزان رسانایی هستند.

ویژگی‌های مغناطیسی مواد، اساساً به چرخش الکترون به دور خود وابسته است. اگر نسبت شعاع اتم به شعاع اوربیتال تک الکترونی بگونه‌ای باشد که میزان انرژی تبادلی در ناحیه مثبت قرار گیرد، ماده، خاصیت مغناطیسی از خود نشان می‌دهد. زمانی که ضخامت یک لایه نازک کاهش می‌یابد، خاصیت مغناطیسی آن نیز کاهش می‌یابد، زیرا به دلیل افزایش تعداد الکترون‌های سطحی و آزادی بیش‌تر این الکترون‌ها، به سختی می‌توان همه الکترون‌ها را هم جهت و موازی کرد. کاهش بیش‌تر ضخامت لایه‌های نازک، می‌تواند آن ها را به لایه‌های پارا مغناطیس تبدیل کند. در لایه‌های نازک، آثار پارا مغناطیس و دیا مغناطیس به اندازه‌ای ضعیف است که به سختی آشکار می‌شود. خواص فرو مغناطیس یک زیرلایه، به عواملی مانند دمای زیرلایه، آهنگ لایه‌نشانی و اجزای سازنده آن بستگی دارد. با استفاده از فلزات مغناطیسی می‌توان لایه‌های نازک فرومغناطیس تولید نمود که کاربرد وسیعی در ابزار حافظه کامپیوتر دارند. در حالت کلی می توان گفت که ویژگی‌های مغناطیسی لایه‌های نازک، به عواملی مانند مورفولوژی، شکل هندسی و میکروساختار لایه بستگی دارد [۲].

از نقطه نظر ویژگی‌های اپتیکی لایه‌های نازک می‌توان گفت که پدیده‌های مختلف اپتیکی در مواد شامل بازتاب، جذب، عبور و پراکندگی نور می‌باشد. پارامترهای اصلی واکنش نور با لایه‌های نازک، شامل ضریب شکست و ضریب جذب می‌باشد. معمولاً برای لایه‌نشانی با اهداف اپتیکی، از روش‌های فیزیکی استفاده می‌شود. از تغییراتی که در ثابت‌های جذب و بازتاب لایه نازک ایجاد می‌شود، می‌توان در کاربردهای وسیعی نظیر آینه‌ها و لایه‌های ضدانعکاس استفاده نمود. در مباحث ویژگی‌های اپتیکی لایه‌های نازک، بیش‌ترین کاربرد مربوط به سیستم‌های چندلایه است که با ترکیب چند لایه با ضخامت‌ها و ضریب شکست‌های متفاوت می‌توان کاربردهای متفاوتی را ایجاد نمود [۳].

## روش‌های ساخت لایه‌های نازک

فناوری لایه نازک به عنصری حیاتی در دنیای مدرن امروزی تبدیل شده است. با توسعه علم و فناوری در همه عرصه‌ها از جمله فیزیک و فناوری نانو، لایه‌های نازک بیش از پیش اهمیت و ضرورت خود را در صنایع مختلف و پژوهش‌های محققان نشان داده اند. بعلاوه، امروزه کاربرد و خواص لایه‌های نازک در علوم مختلف و نقش بسزای آن‌ها در توسعه و رشد

فناوری، بسیار چشمگیر بوده است. در نتیجه، روش‌های ساخت لایه نازک مانند لایه نشانی در خلاء نیز، بیش‌تر از قبل، مورد توجه محققان و پژوهشگران این حوزه قرار گرفته است. روش‌های متفاوتی برای رشد لایه‌های نازک وجود دارد. برخی از این تکنیک‌ها برای رشد لایه‌های نازک رسانای شفاف بکار گرفته شده است. در کنار روش‌های متعدد، یکسری از آن‌ها مرسوم شده و موارد کاربرد بیش‌تری دارند. با توجه به اینکه گذار الکتریکی و اپتیکی این فیلم‌ها به ریزساختار و عنصرسنجی آن‌ها و طبیعت ناخالصی موجود وابسته است، هر تکنیک رسوب گذاری به همراه پارامترهای وابسته، خواص متفاوتی را برای لایه مورد نظر بوجود می‌آورد [٦]. با توجه به تکنیک رسوب گذاری، زیرلایه می‌تواند تاثیر بسیار مهمی را در خواص لایه‌ها داشته باشد. ضریب انبساط گرمایی زیرلایه، تأثیر مهمی روی خواص الکتریکی لایه‌های نازک دارد، بطوریکه باعث کاهش تنش‌های ذاتی در داخل لایه‌ها می‌گردد. در فرآیندهایی که مستلزم دماهای رسوب گذاری بالایی هستند، تأثیر پخش یون‌های قلیایی از زیرلایه‌ها به لایه، بسیار مهم می‌باشد. کاتیون‌ها بعنوان عوامل آلاینده نوع p عمل کرده و باعث خنثی شدن بخشنده‌ها می‌گردند. به منظور برطرف کردن مشکل ناشی از وجود یون‌های قلیایی، یک فرآیند مخصوص تمیزکردن برای زیرلایه-های شیشه‌ای، بایستی اختیار شود. در حالت کلی، روش‌های رشد لایه‌های نازک به دو دسته روش‌های فیزیکی و روش‌های شیمیایی تقسیم می‌شوند.

در روش‌های فیزیکی، در موقع تهیه یک لایه نازک، رفتار فیزیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای ساختن لایه‌ها به روش فیزیکی، لازم است که ماده یا مواد مورد نظر را بصورت اتم، مولکول و یا مجموعه کوچکی از این ذرات تبدیل کرده و در جای دیگری به شکل و ضخامت مناسبی انباشت کنیم. از آنجاییکه مواد متشکل لایه همواره باید کنترل شود، ساخت لایه-ها با روش‌های فیزیکی در خلاء انجام می‌گیرد [۷]. یکی از دلایل پیچیدگی و پر هزینه بودن ساخت لایه ها با این روش‌ها، بوجود آوردن محیط خلاء مناسب می‌باشد. از آنجاییکه مایعات و اجسام در خلاء، تبخیر (یا تصعید) می‌شوند و هرچه درجه خلاء پایین‌تر باشد، این روند سریع‌تر انجام می‌گیرد، ایجاد خلاء مطلق، غیر ممکن بوده و با نزدیک شدن به خلاء مطلق، اتم‌های جدار داخلی ظرف حاوی محیط خلاء، سبب بالا رفتن فشار می‌شوند. در زیر، برخی از روش‌های فیزیکی مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

از روش تبخیر حرارتی می‌توان در کاربردهایی مانند پوشش‌های تزئینی، میکروالکترونیک، کاربردهای مهم مهندسی، شیمیایی، هسته‌ای و صنایع وابسته استفاده کرد [۸]. این روش معمولاً در داخل محفظه خلاء انجام می‌شود و بیش از سایر روش‌ها برای تهیه لایه-های نازک مورد استفاده قرار می‌گیرد. علت این امر را می‌توان در ساده بودن این روش و ساخت لایه‌هایی با درجه خلوص خیلی بالا و بدست آوردن ساختار کریستالی دلخواه با فراهم نمودن شرایط مناسب جستجو کرد. فرآیند شکل گیری لایه در این روش، شامل سه مرحله تبخیر (یا تصعید)، انباشت روی زیرلایه و اصلاح مجدد پیوندهای بین ذرات می‌باشد. این روش دارای کاربردهای متعددی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به انباشت فلزکاری برای سیستم‌ها، قطعات و حسگرهای الکترونیکی [۹]، تهیه پوشش-های مغناطیسی و اپتیکی [۱۰-۱۱] و تهیه قطعات اپتوالکترونیکی [۱۲] اشاره کرد. همچنین از این روش

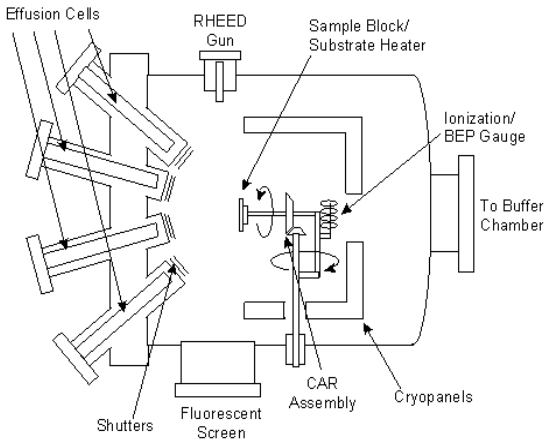
بطور گسترده‌ای در تهیه لایه‌های فلزی و دی الکتریک جهت کاربردهای الکترونیکی استفاده می‌شود.

روش دیگر، روش کندوپاش است که یکی از تکنیک‌های گسترده مورد استفاده برای رسوب گذاری لایه‌های اکسیدی رسانای شفاف می باشد [۸]. وقتی بر سطح جامد، پرتو یونی، الکترونی و یا نوری با انرژی کافی بتابد، اتم‌های تشکیل دهنده جسم از سطح آن آزاد شده و در فضا پراکنده می‌شوند. این پدیده به کندوپاش(پراکنش) مرسوم است. فرآید کندوپاش فواید منحصر بفردی نسبت به فرآیندهای دیگر دارد. از جمله این موارد می‌توان به یکنواختی لایه، پوشش دهی مواد سخت، پوشش‌دهی مواد نارسانا، پوشش-دهی سطوح بزرگ و عدم ایجاد زبانه اشاره کرد. این فرآیند، به نوع و انرژی ذرات برخوردی به سطح و نیز مواد متشکله سطح و زاویه برخورد ذره و سطح بستگی مستقیم دارد. برخورد یون پر انرژی به سطح، سبب ایجاد چندین نوع برخورد در سطح یا نزدیکی سطح در درون جامد می‌شود. انتقال انرژی ذره برخورد کننده به ذرات درون سطح، بر اثر حداقل یک برخورد یا برخوردهای پیاپی اتفاق می‌افتد. وقتی ذره تابشی، یک یون سبک مانند $H^+$ یا $D^+$ باشد، انرژی آن برای بوجود آوردن برخوردهای پیاپی کافی نبوده و حالت پستاب کوچک رخ می‌دهد. وقتی که انرژی یون تابشی برای بوجود آمدن برخوردهای پیاپی نسبتا کافی باشد، بر اثر برخورد به سطح، برخی از اتم‌های نزدیک سطح به حرکت در می‌آیند، ولی برخورد اتم‌های داخلی قابل چشم پوشی است. این نوع پراکنش را پراکنش با نفوذ بر اثر برخورد خطی می‌گویند. وقتی که اتم سنگینی با انرژی زیاد به سطحی که توان ایستادگی آن زیاد است بتابد، برخوردهای پیاپی بوجود می آورد؛ در نتیجه تعداد زیادی از اتم‌های متشکله سطح، انرژی بسیار زیادی کسب می‌کنند. اگر این انرژی برای پرتاب اتم-های دیگر، کافی باشد، برخورد این اتم با اتم‌های دیگر سبب پراکنش می‌شود.

برای شکل‌گیری لایه توسط روش کندوپاش، دو وجه اصلی واکنشی و غیر واکنشی وجود دارد. در حالت غیر واکنشی، کندوپاش با استفاده از پلاسمای گاز بی اثر مانند آرگون، که هیچ تأثیر مستقیمی بر تشکیل ترکیبات بر روی هدف یا زیرلایه ندارد، صورت می‌گیرد. آرگون بدلیل داشتن جرم کافی برای ایجاد کندوپاش بالا و هزینه کم‌تر نسبت به کریپتون و زنون، متداول ترین گاز مورد استفاده می‌باشد. با توجه به اینکه مکانیزم پوشش در این روش اکثراً مکانیکی است، لذا برای پوشش موادی با درجه ذوب بالا مانند فلزات دیرگداز تنگستن و تانتالیوم می‌تواند مفید باشد. بنابراین از این روش برای فلزکاری مدارهای الکترونیکی و پوشش‌های اپتیکی استفاده می‌شود [۱۳].

روش روآرایی توسط باریکه مولکولی، یکی دیگر از تکنیک‌های فیزیکی تولید لایه‌های نازک می‌باشد که جهت ساخت قطعات میکرو موج اپتوالکترونیکی، دارای قابلیت‌های فراوانی می‌باشد [۱٤]. در طی این فرآیند، چندین باریکه مولکولی با چگالی‌های شار متفاوت، با زیرلایه تک کریستالی که قبلاً گرم شده باشد، پیوند شیمیایی برقرار می‌کنند. بر خلاف سایر روش‌های انباشت، این روش بایستی در خلاء بسیار بالایی انجام گیرد. از طرف دیگر امکان آلودگی لایه با استفاده از این روش، بسیار پایین است. ایجاد خلاء بسیار بالا و نگهداری آن و همچنین نگهداری تک لایه‌های تهیه شده با این روش دردسرساز است،

درنتیجه سیستم‌های جدیدی برای انباشت طراحی شده‌اند که مجهز به محفظه‌های جداگانه با عملیات معلومی مانند تجزیه لایه‌ها، آماده‌سازی زیرلایه و فرآیندهای انباشت می‌باشد. جنس این قطعات از استیل ضد زنگ می‌باشد که از سطوح داخلی بسیار صافی برای کاهش رطوبت و جذب گاز تشکیل می‌شوند. شکل ۱، نمایی کلی از محفظه رشد یک سیستم با این تکنیک را نشان می‌دهد.

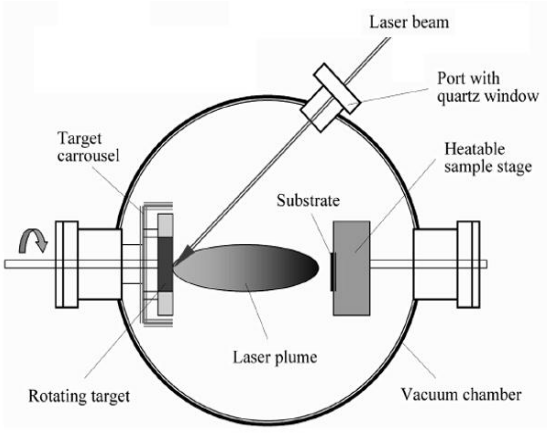



شکل (۱): نمایی کلی از محفظه رشد یک سیستم روآرایی با باریکه مولکولی

روآرایی با ترکیب شیمیایی دلخواه، با انتخاب سلول تبخیری مناسب و نیز دمای مناسب زیرلایه‌ای ایجاد می‌گردد. از جمله خصوصیات این روش این است که لایه نشانی در میزان رشد نسبتاً پایینی در حدود یک میکرومتر در ساعت صورت می‌گیرد که تقریباً معادل یک تک لایه بر ثانیه اشد. در این روش، تا حد ۵ آنگستروم هیچ نفوذی در لایه نداریم و سطح نیز کاملاً هموار می‌باشد. برای اطمینان از یکنواختی و تکرارپذیری خواص لایه، به سطحی نیاز داریم که بتواند دمای مورد نیاز را برای زیرلایه تأمین کند. از طرف دیگر زیرلایه بایستی بگونه‌ای نگهداری شود که تحت فشار نبوده و برای لایه ایجاد ناخالصی ننماید. معمولاً برای یکنواخت نگهداشتن دما، از مواد نسوز با رسانش دمایی بالا مانند مولیبدنیوم استفاده می‌شود. در دمای شدید (معمولاً کم‌تر از ۶۰۰ درجه)، فشار بخار این مایعات بسیار کم می‌باشد. اگر گرما بطور یکنواخت به زیرلایه اعمال نشود، سبب ایجاد دررفتگی در لایه رشد یافته می‌شود. کیفیت لایه ایجاد شده با این روش به چندین عامل بستگی دارد که عبارتند از: ساختار چشمه، دمای سطحی زیرلایه، میزان رشد و میزان شار باریکه. با استفاده از روش روآرایی با باریکه مولکولی می‌توان بخوبی ترکیبات لایه، کریستالی شدن، خلوص کریستالی و ایجاد لایه‌ای با عمل تزریق و نیز مورفولوژی سطح را تا یک لایه اتمی کنترل کرد. این تکنیک، روش مناسبی برای ساخت لایه‌هایی برای استفاده در وسایل اپتوالکترونیک، لیزرهای دیودی، سلول‌های خورشیدی و آشکارسازهای نوری می‌باشد [۱۵]. از دیگر کاربردهای این روش می توان به ابررساناهای دمای بالا و لایه های الماسی اشاره کرد [۱۶].

یکی دیگر از تکنیک‌های فیزیکی ساخت لایه‌های نازک، روش انباشت توسط پالس لیزری می‌باشد. اگر پرتو یک لیزر با توان بالا به یک هدف برخورد کند، می‌تواند دمای آن سطح را به اندازه کافی بالا ببرد. در این روش معمولاً از لیزرهای ماوراء بنفش که می توانند پالس‌های تا حد یک ژول را در ۱۵ تا ۴۵ نانو ثانیه تولید کنند، استفاده می‌شود [۱۷]. با جاروب نمودن پرتو لیزری در امتداد هدف و چرخانیدن زیرلایه، هدف بطور کامل مصرف شده و در نتیجه لایه بطور یکنواخت ایجاد می‌شود. از طرف دیگر یک دستگاه لیزر جذبی، پرتوهای لیزر را مستقیماً به روی هدف می‌تاباند و در نتیجه تعدادی از مولکول‌های

هدف از آن جدا شده و روی زیرلایه انباشت می‌شوند. البته بایستی اشاره نمود که زیرلایه باید قبلاً گرم شده باشد. تصویر کلی از یک سیستم پالس لیزری در شکل ۲ دیده می‌شود. از این روش علاوه بر اینکه جهت تبخیر می‌شود استفاده کرد، جهت سرد کردن دوباره کریستال و تشکیل لایه‌های روآرایی نیز کاربرد دارد. عمده‌ترین برتری روش فوق در این است که با ترکیب اهداف مختلف در حالت بخار، می‌توان لایه‌های مرکب تولید کرد. از دیگر محاسن قابل توجه برای این روش، گرم کردن کلیه نمونه‌ها است، زیرا محدود به لایه‌های کم عمق می‌شود و باعث پخش ناخالصی درون جامد نمی‌گردد. با توجه به اینکه در نقطه تماس بین پرتو لیزر و هدف معمولاً دمای نسبتا زیادی ایجاد می‌شود، لذا تقریباً تمام مواد را می‌توان با استفاده از این روش انباشت کرد. از جمله کاربردهای این روش می‌توان به ابررساناهای دمای بالا، گرافیت و مواد الکترو اپتیکی اشاره کرد [۱۸-۱۹].

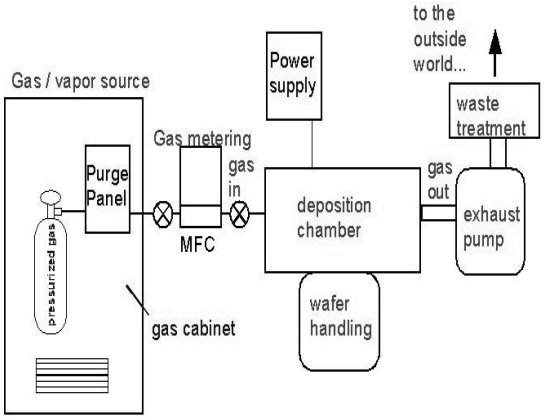



شکل (۲): نمایی کلی از یک سیستم PLD و اجزاء تشکیل دهنده آن

در روش‌های شیمیایی ساخت لایه‌های نازک نیز از برخی خصوصیات و فرآیندهای شیمیایی برای تهیه لایه‌های نازک استفاده می‌شود. روش انباشت شیمیایی از بخار، که بیش‌ترین کاربرد را در میان روش‌های شیمیایی دارد، شامل واکنش سطح روی سطح جامد با در نظر گرفتن یک یا چند نوع واکنش گازی است. معمولاً اکسیدهای فلزی بوسیله تبخیر یک ترکیب فلزی چندگانه مناسب رسوب می‌شوند. پایداری گرمایی در یک دمای به اندازه کافی بالا، برای ایجاد یک فشار بخار مناسب و غیر پایداری گرمایی در دماهای بالاتر، معمولاً توسط ترکیبات فلزی طبیعی انجام می گیرد. بطور کلی روش‌های انباشت شیمیایی از بخار، شامل روش‌هایی است که در آن جریانی از گاز، شامل ترکیبات فرار موادی که می‌خواهیم پوشش دهیم، وارد یک محفظه خلاء می‌شود. شرایط درون این محفظه طوری کنترل می‌شود که باعث انجام واکنش‌های شیمیایی در نزدیکی زیرلایه یا روی آن می‌شود و پوشش مورد نظر بر روی سطح زیرلایه تشکیل گردیده و مواد اضافی حاصل از واکنش‌های شیمیایی در طول فرآیند از سیستم خارج می‌شوند. لایه‌های بدست آمده با استفاده از این روش می‌تواند لایه‌های فلزی، آلیاژی، ترکیبات نسوز و نیمه‌هادی‌ها باشد [۲۰]. از پارامترهای اصلی کنترل در این روش‌ها، می‌توان به شارش گاز، ترکیب گاز، دمای زیرلایه و هندسه دستگاه‌های رسوب گذاری اشاره کرد.

نمایی از یک سیتم انباشت شیمیایی از بخار، در شکل ۳ دیده می‌شود. اصولاً میزان رسوب گذاری به میزان شارش گاز و دمای زیرلایه بستگی دارد. انتظار می‌رود که رسانندگی لایه‌های تهیه شده با این تکنیک، با افزایش تراکم گاز اکسیژن یا آب، کاهش یابد. معمولاً دمای زیرلایه در محدوده ۳۵۰ تا ٤۰۰ درجه سانتی‌گراد متغیر است. دماهای بالاتر، تبلور بهتری را موجب می‌شوند و همچنین اندازه بزرگ‌تر ذرات را با ایجاد

تحرک‌پذیری بیش‌تر، تسهیل می‌کنند. در حالت کلی اساس فرآیند بدین ترتیب است که ابتدا یک مخلوط گازی وارد محفظه راکتور می‌شود، در نزدیکی یا روی زیرلایه یک واکنش شیمیایی رخ می‌دهد و در نتیجه آن، ماده جدیدی روی زیرلایه ایجاد می‌شود. از جمله مهم‌ترین مزایای این روش می‌توان به یکنواخت بودن ضخامت لایه انباشته شده، سرعت لایه نشانی نسبتاً بالا، کنترل ساده ترکیب پوشش، مناسب بودن برای ایجاد لایه‌های چند تایی و مختلط، امکان کنترل ابعاد ریز دانه‌ها در لایه اشاره کرد.




شکل (۳): نمایی از یک سیتم انباشت شیمیایی از بخار

## کاربرد لایه‌های نازک

اهمیت عمده لایه‌های نازک در صنایع الکترونیک، میکروالکترونیک و صنایع نوری می‌باشد که در سال‌های اخیر با پیشرفت فناوری نانو، رشد قابل ملاحظه‌ای را در اصلاح خواص سطحی مواد داشته است. خواص لایه‌های نازک وابسته به ساختار و مورفولوژی آن‌ها طی فرآیند رشد است. لایه نازک امروزه کاربردهای گسترده‌ای یافته است، از کاربردهای الکترونیکی، انرژی‌های نو و پوشش‌های سخت مقاوم در برابر خوردگی و سایش گرفته تا کابردهای دکوراسیون و نمای ساختمان‌ها. از این رو امروزه فناوری لایه نازک به عنوان یک فناوری بین رشته‌ای در دنیا مطرح است. در این میان، برخی مواد از جمله اکسید روی، به دلایل مختلفی مانند رسانایی عالی، پایداری از نظر فیزیکی و شیمیایی، ارزان قیمت بودن و دسترسی راحت، یک لایه نازک محبوب است [۲۱-۲۲]. تطبیق‌پذیری و مقرون به صرفه بودن لایه نازک اکسید روی، آن را به ماده ای جذاب برای کاربردهای مختلف در صنایع مختلف تبدیل کرده است. از جمله کاربردهای لایه نازک اکسید روی می‌توان به قطعات نیمه‌هادی و پوشش‌ها، سلول‌های خورشیدی، نمایشگرها، حسگرهای زیستی و حسگرهای گازی و لیزرها اشاره نمود. در حالی که لایه نازک اکسید روی دارای کاربردهای سلول خورشیدی است، گالیم مس ایندیم به دلیل کارایی بالاتر و پایداری بیش‌تر، جایگزین مناسبی در بخش انرژی خورشیدی شده است. به طور کلی، سلول‌های خورشیدی لایه نازک، تولید انرژی پاک و کم هزینه را فراهم می‌کنند و آن‌ها را به یکی از اجزای حیاتی صنعت انرژی جایگزین تبدیل می‌کنند. علاوه بر این، سلول های خورشیدی لایه نازک دارای یک لایه جاذب با ضریب جذب بالا هستند که امکان کاهش هزینه و ضخامت مواد را فراهم می‌کند.

در حالی که باتری‌های لیتیوم یون، انرژی اکثر دستگاه‌ها، تجهیزات و وسایل نقلیه مورد استفاده امروزی را تأمین می‌کنند، باتری‌های لایه نازک به عنوان جایگزین بهتری ظاهر شده‌اند. آن‌ها نازک‌تر و سبک‌تر هستند و برای دستگاه‌های فنی که باریک‌تر و باریک‌تر می‌شوند، ایده‌آل هستند. در واقع، باتری‌های لایه نازک اکنون در صنعت پزشکی برای تأمین انرژی دستگاه‌های ایمپلنت استفاده می‌شوند. مقاومت‌های

لایه نازک، یکی دیگر از کاربردهای محبوب در فناوری مدرن است. کاربردهای آن‌ها، شامل مواردی مانند گیرنده‌های رادیویی، تابلوهای مدار، دستگاه‌های فرکانس رادیویی، روترهای بی‌سیم، ماژول‌های بلوتوث و مانیتورها می‌باشد. به‌طور خاص، مقاومت‌های مبتنی بر آلیاژ نیکل کروم از کاربرد گسترده‌ای در دستگاه‌های الکترونیکی کوچک‌تر و نازک‌تر برخوردار هستند. پوشش‌های نوری و اپتوالکترونیک‌های مختلف، از لایه‌های نازک نوری استفاده می‌کنند. پوشش‌های موجود در این لایه‌های نازک، مانند پوشش‌های موجود در عدسی‌های مورد استفاده در عینک‌ها، تلسکوپ‌ها و آینه‌ها، بر نحوه انعکاس نور و انتقال نور تأثیر می‌گذارند. این پوشش‌ها می‌توانند ضد انعکاس یا بسیار بازتابنده باشند که می‌توانند نور را منحرف یا فیلتر کنند. علاوه بر کاربردهای گوناگون در زمینه‌های مختلف، لایه‌های نازک نقش بسزایی در مطالعه و توسعه مواد با ویژگی‌های منحصر به فرد و خاص دارند، برای مثال ابرشبکه‌ها که امکان مطالعه پدیده‌های کوانتومی را فراهم می‌آورند. آن‌ها از این جهت بسیار مهم هستند که ویژگی‌ها و واکنش‌های سطح ماده را از توده آن، متفاوت می‌سازند. بعلاوه، آن‌ها دارای طیف وسیعی از خصوصیات هستند که متناسب با خصوصیتشان، کاربردهای گوناگونی دارند. در سال‌های اخیر، از نظر زیست محیطی نیز لایه‌های نازک کاربردهای وسیع و متنوعی داشته‌اند. استفاده از فناوری انرژی خورشیدی در گلخانه‌ها در حال گسترش است و از انرژی تجدید ناپذیر خورشید حداکثر استفاده را می‌کند و در عین حال، کارایی کشت و تولید را تضمین می‌کند. با سلول‌های خورشیدی لایه نازک می‌توان آن‌ها را مستقیماً بر روی سقف گلخانه نصب کرد یا در داخل آن آویزان کرد که به طور قابل توجهی بار ساخت و ساز و کارهای عمومی مربوطه را کاهش می‌دهد. با این حال، پلاستیکی که به عنوان ماده استفاده می‌شود، از این نظر ضعف دارد که وقتی در معرض نور خورشید قرار می‌گیرد، به سرعت خراب می‌شود. اگرچه سلول‌های خورشیدی لایه نازک، آسان‌تر از پانل‌های خورشیدی هستند، اما باید مرتباً تعویض و دفع شوند، که واضح است که برای کشاورزان می‌تواند هزینه‌بر باشد. در سال‌های اخیر، کشورهای توسعه یافته، قوانینی را برای محدود کردن استفاده از پلاستیک‌های تجزیه ناپذیر تصویب و اعمال کرده‌اند. مواد جدید، برای محافظت از محیط زیست و حفظ خاک توسعه داده شده است. با این حال و با وجود تکنولوژی موجود، می‌توان پوشش‌های فتوولتائیک زیست تخریب پذیر را با استفاده از مواد مشتق شده طبیعی تولید کرد. به دلیل نیاز به توسعه محصول ، محققان به سراغ ابرپلاستیک‌هایی رفته‌اند که فناوری ساخت لایه‌های نازک با مواد مختلف را برای توسعه مشترک دارد.

در حالی که نوآوری‌های تکنولوژیکی، کاربردها و مشکلات در انرژی خورشیدی گلخانه‌ای و استفاده یکپارچه با استفاده از مواد جدید برای گلخانه‌های کشاورزی فتوولتائیک خورشیدی، از جمله گلخانه‌ها و سقفی که در بالای گلخانه با ماژول‌های پنل خورشیدی در مکان‌های پیوسته یا فاصله دار قرار دارند، همراه است. اگر بتوان از چنین سلول‌های خورشیدی منتسب به خاک استفاده عملی کرد، احتمالاً گزینه قدرتمندی برای دستیابی به بی‌طرفی کربن خواهند بود که به معنای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تقریباً به صفر است. در عین حال، هنگام

دفع سلول‌های خورشیدی ضایعات، به عنوان مثال، خطرات زیست محیطی برای خاک به طور نسبی کاهش می‌یابد، که برای بقای همه نوع بشر از اهمیت بالایی برخوردار است و شایسته مطالعه و ترویج شدید است.

## نتیجه‌گیری

در بررسی ویژگی‌های لایه‌های نازک مشخص است که خواص لایه نسبت به توده ماده رفتار متفاوتی از خود نشان می‌دهد. ویژگی‌های الکتریکی وابسته به نوع عیوب ایجاد شده خواهد بود. در بحث خواص الکتریکی لایه‌های نازک گفته شد که رسانایی الکتریکی لایه با کاهش ضخامت آن، کاهش می‌یابد و در مقابل، میزان مقاومت الکتریکی در لایه‌های نازک‌تر، مقادیر بزرگ‌تری خواهد داشت. با کاهش ضخامت لایه‌های نازک، میزان مغناطیسی شدن آن‌ها نیز کم می‌شود و در مورد ویژگی‌های نوری، با کاهش ضخامت لایه، جذب نور در آن افزایش خواهد داشت. همچنین به علت افزایش میزان سطح به حجم در لایه‌های نازک، تغییر دما و واکنش شیمیایی نسبت به توده ماده با سرعت بیش‌تری انجام خواهد گرفت.

پوشش‌ها براساس ضخامت آن‌ها دسته‌بندی می‌شوند که لایه‌های نازک را در محدوده ضخامت بین ۵۰ و ۵۰۰۰ آنگستروم قرار می‌دهند. تولید این لایه‌ها طی چند سال اخیر با پیشرفت فناوری نانو، شمار زیادی از تحقیقات را به خود اختصاص داده است. اهمیت لایه‌های نازک علاوه بر ویژگی‌های پوششی آن‌ها، شامل ویژگی‌های مکانیکی، الکتریکی، اپتیکی نیز می‌باشد که از دو ویژگی اساسی لایه‌های نازک که همان نازک بودن و بزرگی فوق العاده نسبت سطح به حجم است، حاصل می‌گردد و باعث پیشرفت در صنایع میکروالکترونیک، فروالکترونیک، اپتیک و غیره گشته است. ویژگی‌های فیزیکی لایه‌های نازک عموماً متفاوت از حالت توده‌ای ماده است و با توجه به شرایط لایه‌نشانی و ساختار لایه تشکیل شده، می‌تواند تغییر کند. سرعت لایه‌نشانی، دمای زیرلایه، نوع خلاء، ساختار زیرلایه و تطابق آن با لایه از جمله عوامل تأثیرگذار بر کیفیت لایه نازک می‌باشند.

## منابع


[۱] رازقی زاده، ع.ر.، ۱۳۸۸، فیزیک لایه‌های نازک، دانشگاه پیام نور، تهران.

[2] Rao, M.C., Shekhawat, M.S., 2013, A brief survey on basic properties of thin films for device application, International Journal of Modern Physics: Conference Series. 22, World Scientific Publishing Company.

[3] Frey, H., 2015, Applications and Developments of Thin Film Technology, Handbook of Thin-Film Technology, Springer, Berlin.

[4] Wasa, K., Kitabatake, M., Adachi, H., 2004, Thin Film Materials Technology- Sputtering of Compound Materials, Springer, William Andrew Inc publishing, New York.

[5] Ohring, M., 2002, The Materials Science of thin Films, Deposition and structure, Academic press.

[6] Seshan, K., 2001, Handbook of Thin Film Deposition Processes and Techniques-Principles, Methods, Equipment and Applications, William Andrew Publishing, New York.

[۷] معتمد اکتسابی، ع.، ۱۳۷٤، روش‌های نوین در تکنولوژی ساخت لایه‌ها، انتشارات سازمان انرژی اتمی.

[۸] میرعباس زاده، ک.، ۱۳۸۱، تکنولوژی ساخت لایه‌های نازک و کاربردهای آن، انتشارات دانشگاه امیر کبیر.

[9] Elanjeitsenni, V.P,. Vadivu, K.S., Prasanth, B.M., 2022, A review on thin films, conducting polymers as sensor devices, Mater. Res. Express 9 022001.

[10] Gao, V., Wang, J., Yuan, H.Li., 2016,Preparation and magnetic properties of

Ni–P–La coating by electroless plating on silicon substrate, Appl. Surf. Sci. 364 740.
[11] Piegari, A., Flory, F., 2018, Optical Thin Films and Coatings- From Materials and Applications, Woodhead Publishing.
[12] Islam, R., Banerjee, H.D., Rao, D.R., 1995, Structural and optical properties of $CdSe_xTe_{1-x}$ thin films grown by electron beam evaporation, Thin Solid Films 266 215.
[13] Gulbinski, W., 2002, Deposition of Thin Films by Sputtering, Chemical Physics of Thin Film Deposition Processes for Micro- and Nano-Technologies. NATO Science Series, 55, Springer, 309.
[14] Moustakas,T.D., 2013, Molecular Beam Epitaxy: Thin Film Growth and Surface Studies, Cambridge University Press 29.
[15] Praseuth, J.P., 1995, Molecular beam epitaxy of AlGaInAs on patterned InP substrates for optoelectronic applications, Microelectronics Journal 26 841.
[16] Wu, B.J., Haugen , G.M., DePuydt, J.M., Kuo, L. H., Salamanca-Riba, L., 1996, Molecular beam epitaxy of low defect density ($\leqslant 1\times 104$ cm−2) ZnSSe on GaAs, Appl. Phys. Lett. 68 2828.
[17] Dieleman,J., Riet,E.V.de., Kools, J.C.S., 1992, Laser Ablation Deposition: Mechanism and Application, Japanese Journal of Applied Physics 31 1964.
[18] Guidoni, A.G., Pettiti, I., Morone, A., Marotta, V., Snels, M., Parisi, G.P., Bentivenga, G., 1993, Laser deposition of thin films of high Tc superconductors: In situ analysis of the transient species formed in the plume and surface diagnostics of the deposited material, Appl. Surf. Sci. 69 365.
[19] Petersen, G.A., McNeil, J.R., 1992, Effects of oxygen partial pressure on lead content of PLZT thin films produced by excimer laser deposition, Thin Solid Films 220 87.
[20] Birinie, D.P., 2013, A Model for Drying Control Cosolvent Selection for Spin-Coating Uniformity: The Thin Film Limit, Langmuir 29 9072.
[21] Ghodsi, F.E., Absalan, H., 2010, Comparative study of ZnO thin films prepared by different sol-gel route, Act. Phys. Pol. A 118 659.
[۲۲] آبسالان،ح.، ۱۴۰۰، مطالعه خواص فیلم‌های نازک اکسید روی تهیه شده با روش سل- ژل، فصلنامه کاربرد شیمی در محیط زیست، شماره ۴۷، دوره ۱۲.

**"Research article"**

# Study of the methods of preparing thin films and their applications in environmental issues

**Hassan Absalan***
Department of Physics, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran
Email: absalanh@gmail.com

## Abstract
In this article, different techniques of preparing of thin films as well as their applications in environmental issues have been studied. the thickness of thin films is usually in the range between 50 and 5000 angstroms. the thickness of thin films is usually in the range between 50 and 5000 angstroms. the methods of preparing thin films are mainly physical and chemical. by reducing the thickness of a thin film, its electrical conductivity decreases and its electrical resistance increases. also, decreasing the thickness of the thin film leads to decreasing its magnetic intensity. on the other hand, due to the increase of ratio of surface area to volume in thin films, the rate of temperature change and chemical reaction increases compared to the bulk mode. among the factors affecting the quality of a thin film, we can mention the structure of the substrate, the speed of layering, the temperature of the substrate and the type of vacuum.

**Keywords:** Thin films, Techniques of preparing, Properties and applications, The environment