

لایه نشانی تبخیری با باریکه الکترونی :

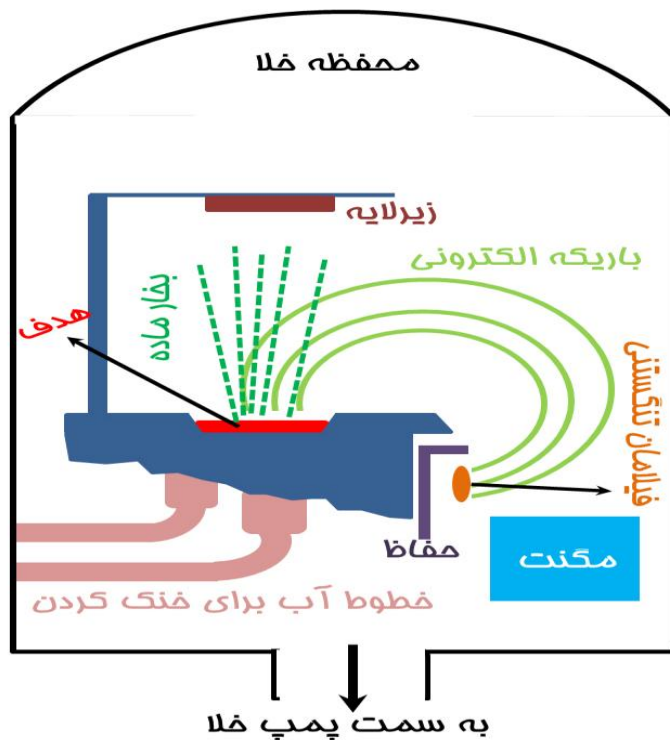
پوشش دهی یکی از مهمترین بخش های مهندسی سطح است که امروزه با پیشرفت صنعت لایه های نازک و پوشش دهی، این فناوری وارد بخش های گوناگون صنعت شده است که می توان به کاربرد آن در ادوات اپتیکی، میکروالکترونیک، معماری و ساختمان اشاره کرد. روش های مختلفی برای ساخت لایه های نازک به کار گرفته می شود. یکی از این روشها، لایه نشانی فیزیکی بخار (Physical Vapor Deposition - PVD) است که در خلا انجام می شود. یکی از روشهای لایه نشانی فیزیکی بخار، تبخیر به کمک باریکه الکترونی (Electron Beam Evaporation) است .

سه مرحله اصلی در هر فرایند لایه نشانی فیزیکی تحت شرایط خلا شامل (الف) تبخیر ماده منبع؛ (ب) انتقال بخار از منبع به زیرلایه که می خواهیم آن را با ماده منبع پوشش دهیم و (ج) تشکیل لایه نازک روی زیر لایه با انباشت بخار منبع مورد نظر است که با کنترل مقدار ماده انباشت شده می توان ضخامت لایه را تنظیم کرد. در روش لایه نشانی تبخیر با استفاده از باریکه الکترونی، انرژی مورد نیاز برای تبخیر ماده منبع از انتقال انرژی الکترون ها به هدف یا ماده منبع تامین می شود.

۱- مقدمه :

یکی از روش های لایه نشانی، تبخیر باریکه الکترونی (Electron Beam Evaporation) است که جز روش های لایه نشانی فیزیکی بخار (Physical Vapor Deposition PVD) محسوب می شود. از آن جایی که در فرایند لایه نشانی مبتنی بر تبخیر حرارتی گرمای بسیار بالایی برای انجام تبخیر نیاز است در صورت حضور گاز اکسیژن، چنانچه فلز تبخیر شده واکنش پذیر باشد اکسید فلزی تشکیل شود. از طرفی حضور مولکول های هوا در مسیری که ماده تبخیر شده از منبع به سمت زیرلایه حرکت می کند، نرخ لایه نشانی را کاهش می دهد و مانع از تشکیل لایه با چگالی بالا می شود. بنابراین بایستی لایه نشانی در محیط خلا که تعداد مولکول ها کاهش یافته اند و تعداد برخوردها کمتر است انجام شود. بنابراین؛ این روش معمولاً در شرایط خلا بسیار بالا (10^{-9}) تا 10^{-12} تور) قابل انجام است. معمولاً ابتدا از یک پمپ مکانیکی برای پیش پمپ و از پمپ توربو برای رسیدن به این مقادیر خلا استفاده می شود .

در فرایند تبخیر حرارتی با استفاده از باریکه الکترونی، باریکه ای از الکترون های پرانرژی از فیلامان (رشته داغ) به سمت ماده منبع گسیل می شود و به این ترتیب انرژی مورد نیاز برای تبخیر ماده منبع تامین می گردد. این سیستم شامل یک آند و یک کاتد است آند به طور مثبت بایاس شده است و کاتد به زمین متصل است و یا نسبت به آند دارای بایاس منفی است. الکترون های گسیل شده از فیلامان (معمولاً فیلامان از جنس تنگستن است) با اعمال ولتاژ بایاس ۱۰ تا ۴۰ کیلوولت DC به سمت ماده منبع هدایت می شوند. شکل ۱ طرح واره ای از دستگاه لایه نشانی باریکه الکترونی را نشان می دهد.



شکل (۱) طرح واره ای از دستگاه لایه نشانی تبخیری به کمک باریکه الکترونی.

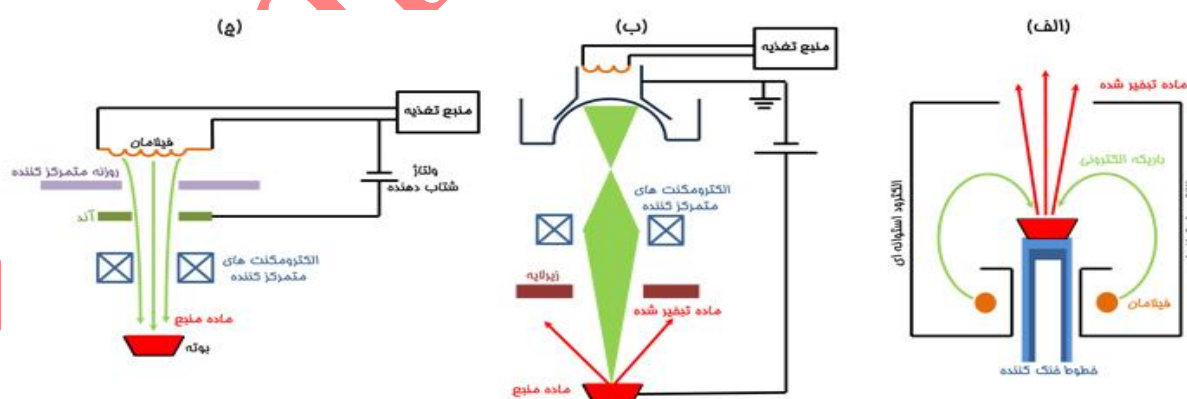
الکترون ها بعد از گسیل از فیلامان تنگستنی به صورت باریکه ای از الکترون ها به کمک میدان مغناطیسی به سمت هدف یا منبع ماده، هدایت می شوند تا انرژی مورد نیاز برای انتقال ماده منبع به فاز بخار تامین شود و در نهایت به دلیل اختلاف فشار، حرکت ماده تبخیر شده به سمت زیرلایه انجام می شود و پوششی از ماده مورد نظر روی زیرلایه تشکیل می شود.

۲- پیکربندی های مختلف برای هدایت و متمرکز کردن باریکه الکترونی :

ماده تبخیر شده معمولا در یک خط راست که در راستای منبع تا زیرلایه است حرکت می کند. برای ایجاد لایه و پوشش هایی با ضخامت یکنواخت زیرلایه ها بر روی چرخاننده ای قرار داده می شوند. در داخل محفظه محافظ هایی قرار دارد که مانع از پخش ماده تبخیر شده در کل محفظه و آلوده کردن سایر بخش های دستگاه (به جز زیرلایه ها) می شوند.

همان طور که گفته شد یکی از روش هایی که برای گرم کردن ماده منبع مورد استفاده قرار می گیرد تا به فاز بخار تبدیل شود، گرمادهی با برخورد باریکه الکترونی به ماده منبع است. برای تولید باریکه الکترونی نیز از فیلامان استفاده می شود. از آن جایی که الکترون هایی که از محور اصلی خارج شده اند می توانند منجر به گرم شدن داخل محفظه شوند تعبیه یک روزنه برای متمرکز کردن حرارت می تواند مفید باشد. از این رو پیکربندی های مختلفی برای تبخیر کننده های باریکه الکترونی طراحی شده است. در شکل ۲ الف، یک میدان الکتروستاتیک منفی به الکترون استوانه ای متمرکز کننده اعمال می شود. این میدان، الکترون هایی که از کاتد گرم شده گسیل می شوند را در یک مسیر بیضی به حرکت وا می دارد. خنک کردن بوتله با

استفاده از جریان آبی که در درون لوله های هم مرکز که به انتهای منبع متصل هستند، انجام می شود. ویژگی این پیکربندی در این است که ماده تبخیر شده می تواند بدون هیچ برخورد با روزنه متمرکز کننده و یا برخورد با فیلامان به سمت زیرلایه که در بالای منبع قرار داده شده است، هدایت شود. بنابراین از آن جایی که امکان تشکیل لایه ای از ماده منبع روی فیلامان و آلوده شدن آن وجود دارد، با این پیکربندی فیلامان از تشکیل پوششی از جنس ماده تبخیر شده، محفوظ می ماند. در بعضی از تبخیر کننده های الکترونی از سیم پیچ های الکترومغناطیسی برای هدایت و متمرکز کردن باریکه الکترونی استفاده می شود که در این نوع پیکربندی کنترل و هدایت باریکه الکترونی بیشتر و بهتر انجام می شود (شکل ۲ب). در نتیجه یکنواختی پوشش نیز افزایش می یابد و الکترون هایی که از فیلامان گسیل می شوند به پشت کاتد برخورد می کنند و این سبب می شود که کاتد گرم شود و در نتیجه از آن الکترون گسیل می شود. معمولا کاتدها به شکل نیم دایره اند که این طراحی سبب می شود که یکنواختی در سه بعد فضایی بهبود یابد. اما روش دیگر برای تبدیل انرژی جنبشی به الکترون های گسیل شده از فیلامان؛ استفاده از یک آند است که در واقع همان تفنگ الکترونی است. سیم پیچ های الکترومغناطیسی نیز برای خم و متمرکز کردن باریکه الکترونی به کار می روند. این کار با تغییر جریان در سیم پیچ های الکترومغناطیسی انجام می شود که منجر به حرکت الکترون ها با الگوی لیسازو (منحنی های سینوسی دوبعدی) می شود. شکل (۲ ج، طرح واره این روش را نشان می دهد که با استفاده از چنین چیدمانی می توان مواد نارسانا مانند کلسیم فلئوئورید (ماده مناسب برای پوشش دهی لنز دوربین برای افزایش عملکرد نوری دوربین ها) را نیز به روش تبخیر با باریکه الکترونی لایه نشانی کرد. در ضمن، در این پیکربندی ها دریچه ای (shutter) وجود دارد که بعد از اینکه دما به مقدار مورد نظر رسید و ماده منبع تبخیر شد با کنار کشیدن دریچه، لایه نشانی روی زیرلایه انجام می شود.



شکل ۲ - پیکربندی های مختلف برای انتقال باریکه الکترونی به سمت ماده منبع. (الف) تبخیر کننده باریکه الکترونی با الکترونی که متمرکز کننده که هدایت و متمرکز کردن باریکه الکترونی با استفاده از میدان الکتروستاتیکی حاصل از اعمال ولتاژ به الکترونی انجام می شود، (ب) تبخیر کننده باریکه الکترونی با شتاب دهنده الکترومغناطیسی به منظور هدایت و متمرکز کردن باریکه الکترونی بر روی منبع، (ج) تبخیر با استفاده از باریکه الکترونی خود شتاب دهنده.

۳- فرایند تبخیر باریکه الکترونی :

در اثر حرارتی که به ماده منبع منتقل می شود بخار بسیاری از ماده آزاد شود که به دلیل اختلاف فشار به سمت زیرلایه حرکت می کند. با رسیدن اتم ها و مولکول های موجود در فاز بخار به زیرلایه چگالش صورت می گیرد و با جذب گرما به وسیله زیرلایه، ماده منبع از حالت بخار به جامد، تغییر فاز می دهد. گرمای تولید شده می تواند به قدری زیاد باشد که منجر به ذوب شدن زیرلایه شود که با تنظیم فاصله میان منبع و زیرلایه می توان مانع از این اتفاق شد .

در این روش نیز مانند سایر روش های تبخیر حرارتی انتخاب بوته های سرامیکی از اهمیت بالایی برخوردار است تا ماده منبع با بوته واکنش ندهد. بوته معمولا از جنس مس یا گرافیت است که هدایت حرارتی مناسبی دارند و به وسیله آب خنک می شود. ماده منبع، به دلیل رسیدن تعداد بسیاری از الکترون ها به آن، باردار شده و مانع رسیدن سایر الکترون ها به ماده منبع می شود. بنابراین، بایستی بوته به زمین متصل باشد تا الکترون های اضافی از بوته به زمین منتقل شوند. همچنین، باریکه الکترونی سطح ماده منبع را جاروب می کند تا به دلیل انرژی بالای الکترون ها، فقط یک نقطه از ماده منبع سوراخ نشود. از آنجایی که برای لایه نشانی، از تبخیر ماده به وسیله باریکه الکترونی استفاده می شود، این روش یک فرآیند گرمایی به شمار می آید و معمولا مناسب لایه نشانی اکسیدهای فلزی است که نقطه ذوب بالایی دارند. با این روش می توان فلزاتی مانند آلومینیوم، پالادیوم، تیتانیوم، طلا، ژرمانیوم، نیکل، کرم و پلاتین را نیز لایه نشانی کرد که برای لایه نشانی هر یک از این مواد بایستی از بوته مناسب استفاده شود. بعضی از ترکیبات کاربرد مانند تیتانیوم کاربرد و زیرکونیوم کاربرد را بدون این که در فاز بخار تجزیه شوند، می توان با روش تبخیر باریکه الکترونی لایه نشانی کرد. بعضی از مواد مانند آلومینا (Al_2O_3) تحت تاثیر باریکه الکترونی به آلومینیوم، Al_2O_3 و AlO_3 تجزیه می شود و استوکیومتری ماده موجود در منبع و لایه متفاوت می شود. یکی از روش ها برای تولید اکسیدهای فلزی با استفاده از تبخیر باریکه الکترونی تبخیر واکنشی است. در این روش، فلز در داخل بوته تبخیر می شود و اکسیژن به داخل محفظه وارد می شود و بخار فلز در مجاورت زیرلایه با اکسیژن واکنش می دهد و اکسید فلزی روی سطح تشکیل می شود. این کار برای لایه های کاربرد فلزی با استفاده از استیلن قابل انجام است. همچنین برای تشکیل لایه های کاربرد فلزی می توان از دو بوته مجزا که یکی حاوی فلز و دیگری حاوی کربن است، استفاده کرد. در آن با رسیدن بخار این دو منبع به زیرلایه به طور شیمیایی و تحت شرایط ترمودینامیک مناسب با یکدیگر ترکیب می شوند و کاربرد فلزی تشکیل می شود. همان طور که گفته شد در روش تبخیر حرارتی با استفاده از باریکه الکترونی، ابتدا باریکه الکترونی به وسیله فیلامان تولید و بر اساس پدیده ترمیونیک (پدیده گسیل الکترون از فلز ملتهب را پدیده ترمیونیک می گویند) گسیل می شود. سایر روش هایی که برای تولید الکترون در روش تبخیر حرارتی با استفاده از باریکه الکترونی، به کار گرفته می شوند، گسیل الکترون میدانی (Field Electron Emission) و قوس آندی

(Anodic Arc) است. بعد از آن باریکه الکترونی شتاب داده و با استفاده از لنزهای استوانه ای متمرکز می شود. همچنین پرتاب و هدایت باریکه الکترونی به سمت منبع با استفاده از تفنگ الکترونی که مجموعه ای از لنزهای مغناطیسی است، نیز ممکن است. خم کردن باریکه الکترونی نیز با استفاده از میدان مغناطیسی انجام می شود.

۴- فرایند هسته زایی و رشد لایه :

تشکیل لایه روی زیرلایه شامل فرایند هسته زایی و فرایند رشد است. در فرایند هسته سازی، اتم ها یا مولکول هایی که به سطح زیرلایه رسیده اند، انرژی گرمایی خود را با انتقال به سطح از دست می دهند و سپس با توجه به مقدار انرژی گرمایی که اتم ها دارند روی سطح زیرلایه حرکت می کنند تا انرژی گرمایی به طور کامل از بین برود. با از دست دادن تمامی انرژی، این اتم ها یا مولکول های به زیرلایه می چسبند و هسته ها روی زیرلایه شکل می گیرند. با ادامه فرایند هسته زایی، هسته ها به یکدیگر متصل می شوند و لایه هایی تشکیل می شود که سطح زیرلایه را می پوشاند.

با کنترل پارامترهایی مانند انرژی جنبشی اتم های فرودی، دمای زیرلایه، نرخ لایه نشانی، چگونگی پخش گاز حین انتقال ماده تبخیر شده از منبع به زیرلایه، می توان چسبندگی، بازتاب نوری، مقاومت الکتریکی، ویژگی های مغناطیسی، چگالی و قدرت مکانیکی لایه ها را معین کرد.

۵- مزایا و معایب :

با استفاد از این روش می توان لایه ها را با نرخ های متفاوت پوشش دهی از ۱ نانومتر در هر دقیقه تا چندین میکرومتر در هر دقیقه انجام داد. کنترل ساختار و مورفولوژی (ریخت) پوشش ها در مقایسه با سایر روش های لایه نشانی بیشتر است. این روش لایه نشانی در صنایع مختلف صنعتی مانند پوشش های نوری و الکترونیکی و پوشش های حرارتی و مکانیکی در هوا و فضا کاربرد گسترده دارد. از آنجایی که این روش لایه نشانی در فشارهای تقریبا کمتر از ۱۰^{-۴} تور انجام می شود لایه نشانی بخش های داخلی زیرلایه هایی که هندسه پیچیده ای دارند دشوار است. یکی دیگر از معایب این روش لایه نشانی این است که با توجه به این که فیلامان ها عمر مشخصی دارند به مرور زمان با تخریب فیلامان، نرخ تبخیر، یکنواخت نخواهد بود و بایستی فیلامان تعویض شود.

منابع:

Milton Ohering, "Materials Science of Thin Films, Deposition and Structure", ۲nd Edition, New York, Academic Press (۲۰۰۲).

لایه نشانی تبخیر حرارتی مبتنی بر مقاومت الکتریکی :

امروزه فناوری لایه نازک پیشرفت های چشمگیری داشته است و در بخش های مختلف صنعت استفاده می شود. می توان با استفاده از شیشه های با پوشش هایی که انتقال حرارت را در ساختمان ها کاهش می دهند، در مصرف انرژی و هزینه ها صرفه جویی کرد. همچنین می توان به روکش های لایه نازک با ویژگی های نوری مانند آنچه در لنزهای دوربین و عینک ها استفاده می شود، اشاره کرد. روش های مختلفی برای ساخت لایه های نازک به کار گرفته می شود که تبخیر حرارتی مبتنی بر مقاومت الکتریکی (Evaporative Deposition) یکی از آن هاست و این روش جزء روش های لایه نشانی فیزیکی بخار (Physical Vapor Deposition - PVD) محسوب می شود. لایه نشانی فیزیکی بخار نیز به نوبه خود جزء روش های لایه نشانی در خلا به شمار می آید .

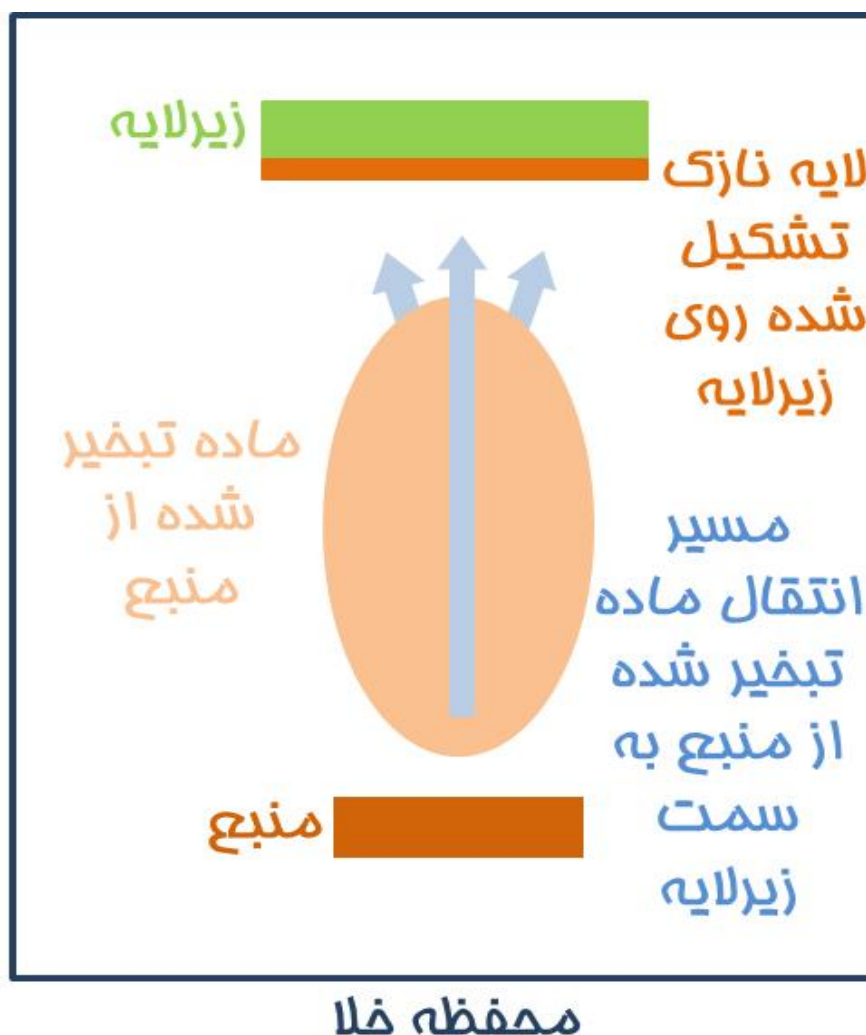
سه مرحله اصلی در هر فرایند لایه نشانی فیزیکی تحت شرایط خلا وجود دارد: (الف) تبخیر ماده منبع؛ (ب) انتقال بخار از منبع به ماده ای (زیرلایه) که می خواهیم لایه نشانی روی آن انجام شود و (ج) تشکیل لایه نازک روی زیرلایه با انباشت بخار منبع مورد نظر. با کنترل مقدار ماده انباشت شده می توان ضخامت لایه را تنظیم کرد.

۱- مقدمه :

برای ایجاد پوشش هایی با کیفیت بالا از روش های لایه نشانی در خلا می توان استفاده کرد. از جمله این روش ها؛ روش های لایه نشانی فیزیکی بخار (Physical Vapor Deposition = PVD) است که تبخیر حرارتی مبتنی بر مقاومت الکتریکی (Evaporative Deposition) یکی از انواع روش های PVD محسوب می شود .

لایه نشانی به روش تبخیر حرارتی فرآیندی است که در محیط خلاء و به کمک اعمال جریان الکتریکی برای تبخیر ماده منبع صورت می گیرد و هدایت و انتقال ماده تبخیر شده به سمت زیرلایه بر اساس اختلاف فشار میان محلی که ماده منبع و زیرلایه قرار دارد، اتفاق می افتد. این روش لایه نشانی یکی از رایج ترین انواع لایه نشانی ها در ساخت لایه های نازک به شمار می رود. پارامترهایی که در این نوع لایه نشانی بایستی کنترل شوند، فشار محفظه و دمای بوته ای است که ماده منبع در آن قرار می گیرد. در این روش، ماده منبع که به عنوان پوشش استفاده می شود (مانند یک قطعه فلز) در یک ظرف (بوته) که با نام قایقک یا فیلامان نیز شناخته می شود و از جنس فلزات مقاوم است، قرار می گیرد. با عبور جریان برق از قایقک یا بوته و داغ شدن ماده مورد نظر به عنوان ماده منبع و تبخیر آن در محیط خلاء، به دلیل اختلاف فشاری که بین محل بوته و محل زیرلایه وجود دارد، یک لایه بسیار نازک بر روی زیرلایه قرار می گیرد. این روش پیشتر در اوایل قرن بیستم به منظور ساخت آینه های فلزی از آلومینیوم یا نقره یا قطعات ماشین آلات مورد استفاده قرار می گرفت.

همان طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است سه مرحله اصلی در هر فرایند لایه نشانی فیزیکی تحت شرایط خلا شامل (الف) تبخیر ماده منبع، (ب) انتقال بخار از منبع به زیرلایه و (ج) تشکیل لایه نازک روی زیرلایه است.



شکل (۱) طرح واره سه مرحله اصلی در هر فرایند لایه نشانی فیزیکی بخار (PVD) تبخیر از منبع؛ انتقال ماده تبخیر شده از بوته به سمت به زیرلایه به دلیل اختلاف فشار ایجاد شده؛ و انباشت ماده تبخیر شده روی زیرلایه و تشکیل لایه نازک.

فرایندهای لایه نشانی باید تحت شرایط خلا انجام شوند زیرا برای تبخیر حرارتی دمای بسیار بالایی نیاز است و هر فلز واکنش پذیری، در دمای بالا در مجاورت اکسیژن، اکسید می شود. از طرف دیگر حضور و برخورد مولکول های سایر گازها در مسیر انتقال ماده تبخیر شده از منبع به زیرلایه موجب می شود که نرخ لایه نشانی کاهش یابد و مانع از تشکیل لایه های با چگالی بیشتر شود. درحالیکه در شرایط خلا تعداد مولکول ها کاهش می یابند و میزان برخورد مولکول های ماده منبع با مولکول های موجود در محفظه، کاهش می یابد.

۲- طرز کار لایه نشانی به روش تبخیر حرارتی :

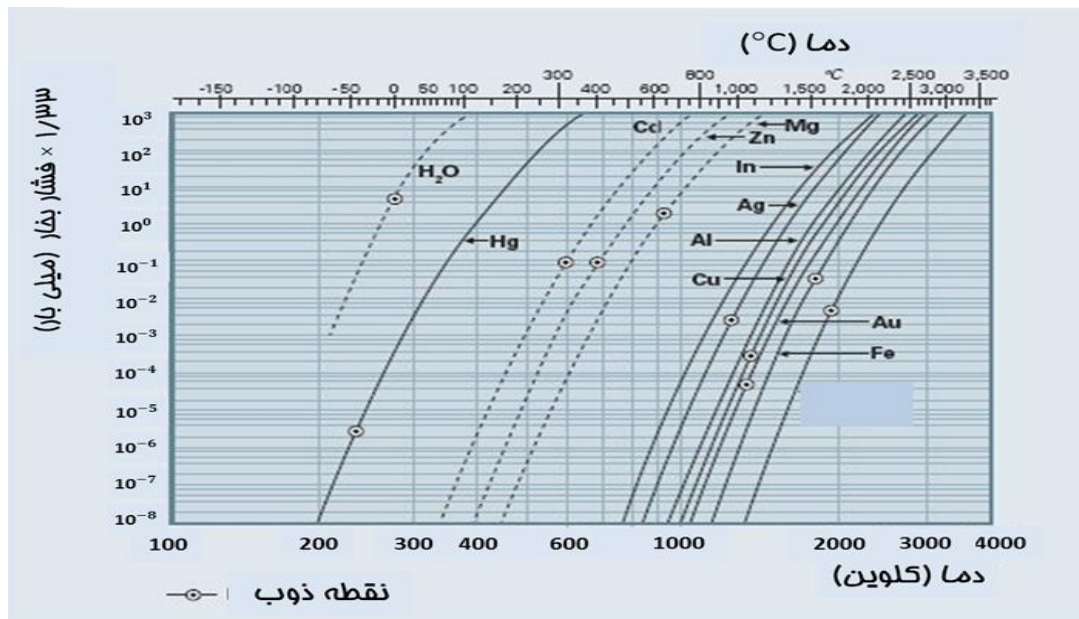
در این روش لایه نشانی، ماده منبع حرارت داده می شود تا ماده به صورت بخار از سطح ماده منبع آزاد شود و به دلیل اختلاف فشار محیط اطراف زیرلایه با محیط اطراف منبع، ماده تبخیر شده به سمت زیرلایه حرکت می کند. هنگامی که اتم ها، مولکول ها و خوشه هایی از مولکول ها که در فاز بخار هستند به زیرلایه می رسند، چگالیده می شوند و از حالت بخار به حالت جامد تغییر فاز می دهند. گرمای چگالش به وسیله زیرلایه جذب می شود. از دیدگاه میکروسکوپی گرمایی که از این فرایند به دست می آید می تواند بسیار زیاد باشد، به طوری که اگر زیرلایه پلاستیکی باشد یا دمای ذوب آن پایین باشد، هنگام پوشش دهی و در حین لایه نشانی می تواند ذوب شود. با انجام آزمایش های مختلف و تنظیم فاصله مناسب بین منبع و زیرلایه می توان گرمای ایجاد شده را کنترل کرد تا مانع از ذوب شدن زیرلایه شد. در تبخیر حرارتی به روش مقاومت الکتریکی در واقع به ماده منبع، گرما داده می شود. این روش ساده ترین روش در میان روش های تبخیر حرارتی است که در محفظه خلا انجام می شود. با اعمال و گذر جریان الکتریکی از قایقک که در واقع یک نوع مقاومت الکتریکی است، دمای آن افزایش می یابد و در نتیجه ماده منبع که در داخل آن قرار دارد و می تواند یک عنصر فلزی یا آلیاژ مخلوط یا ترکیبی باشد، را تبخیر کند.

در این روش ولتاژ پایین و جریان بالا (به عنوان مثال ۱۰ تا ۴۰ ولت به صورت DC و جریان الکتریکی برابر با ۱ تا ۱۰ آمپر) به محفظه خلا اعمال می شود. توان الکتریکی از فیلامان یا قایقک عبور داده می شود که در تماس با ماده منبع است. فیلامان یا قایقک معمولاً از ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ درجه سانتیگراد گرم می شود. برای تبخیر حرارتی موثر بایستی فشار بخار ماده منبع در دمایی که به فیلامان یا قایقک اعمال می شود، مقدار قابل قبولی باشد. دمای لازم برای تبخیر چند فلز در جدول ۱، آورده شده است.

جدول ۱ - دمای مورد نیاز برای تبخیر چندین فلز

ماده منبع	دمای تبخیر (°C)
مس	۱۵۱۶
نیکل	۱۸۴۸
آلومینیوم	۱۳۹۰
روی	۳۲۵
کروم	۱۶۱۲

تبخیر مواد حتی در دمای اتاق نیز اتفاق می افتد که اعمال گرمای بیشتر منجر به تسریع فرایند تبخیر می شود. در یک دمای خاص، فشار بخاری که از یک ماده ساطع می شود فشار بخار تعادلی نام دارد. شکل ۲ نمودار فشار بخار تعادلی بر حسب دما را برای بعضی از مواد نشان می دهد.



شکل ۲- فشار بخار تعادلی تعدادی از فلزات در دماهای مختلف.

همان طور که گفته شد ارتباط میان فشار بخار تعادلی مواد و دما از آنچه در نشان داده شده است، پیروی می کند. با توجه به شکل ۲، بعد از جیوه، کادمیوم در همه دماها، فشار بخار تعادلی بالاتری را نسبت به بقیه مواد دارد و کم ترین فشار بخار تعادلی متعلق به آهن است. مقدار عددی فشار بخار برای هر فلز در یک دمای مشخص را می توان از روی چنین منحنی هایی (منحنی فشار بخار مواد) به دست آورد. برای مثال کادمیوم در دمای ۵۰۰ کلوین فشار بخار تعادلی تقریباً برابر با 10^{-3} میلی بار دارد اما آهن حتی اگر تا دمای ۱۰۰۰ کلوین حرارت ببیند، چنین فشار بخاری را نخواهد داشت. با استفاده از منحنی فشار بخار مواد و بر اساس فشاری که در محفظه لایه نشانی ایجاد شده است، می توان مقدار دمای مورد نیاز ماده منبع را برای تبخیر شدن به دست آورد.

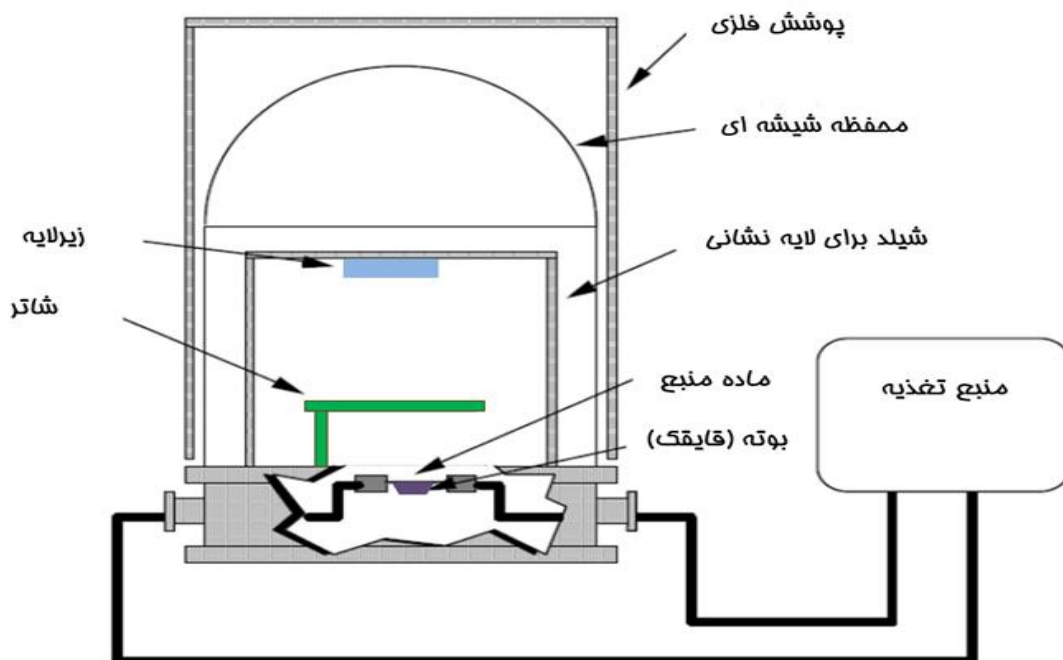
تخمین دمای فیلامان دارای اهمیت است که به طور ساده برای سیمی که طول آن L و سطح مقطع آن A است رابطه میان دمای فیلامان (T) و توان الکتریکی اعمال شده (P) از رابطه زیر پیروی می کند:

$$P = i^2 \rho(0) \left[\frac{T}{T(0)} \right]^n \frac{L}{A_c}$$

انجریان الکتریکی اعمال شده، ($\rho(0)$ مقاومت الکتریکی در دمای مرجع، $T(0) = 293$) و n کمیت ثابتی است که معمولاً مقدار آن نزدیک به عدد ۱ است L طول فیلامان و A_c مساحت سطح مقطع فیلامان سیمی شکل است.

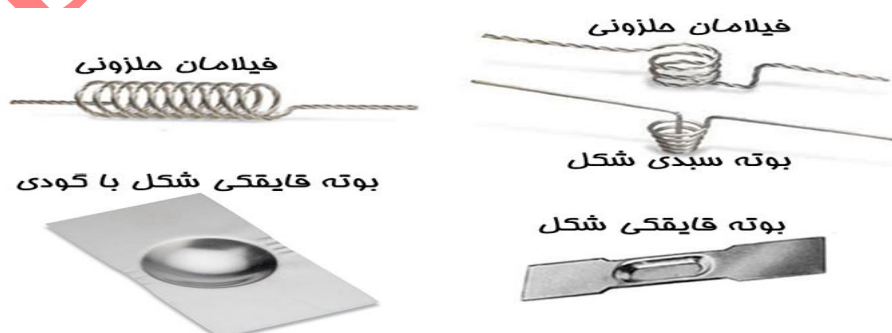
شکل ۳ طرح واره محفظه ای را که برای ایجاد لایه های نازک به روش تبخیر حرارتی با استفاده از مقاومت الکتریکی استفاده می شود، نشان می دهد. تبخیر حرارتی معمولاً در شرایط خلا بالا (فشار بین 10^{-10} تا 10^{-9} میلی بار) و حتی خلا بسیار بالا (فشار بین 10^{-9} تا 10^{-12} میلی بار) انجام می شود. محفظه هایی که برای

این منظور به کار گرفته می شوند بل جار (Bell Jar) نام دارند که امکان طراحی های گوناگونی را فراهم می آورند و با آنها می توان فرایند تبخیر را با صرف هزینه کم مشاهده کرد.



شکل ۳- طرح واره لایه محفظه خلا برای ساخت لایه نازک به روش تبخیر حرارتی

فیلامان ها یا قایقک هایی که برای قرار دادن ماده منبع استفاده می شوند معمولاً از جنس تنگستن، مولیبدن، تانتالیوم، برونیتريد و سرامیک و یا آلیاژهایی از این نوع مواد است. فیلامان ها بایستی نقطه ذوب بالا داشته باشد و قابلیت حل شدن آن در ماده منبع پایین باشد تا با ماده منبع آلیاژ تشکیل ندهند. همچنین در برابر شوک های حرارتی مقاوم باشد و ماده منبع بتواند آن را مرطوب کند (wet) بعلاوه این فیلامان ها بایستی در برابر گازهای موجود در محیط غیرفعال باشند. فیلامان ها در شکل های مختلفی مانند ورق و سیم های پیچیده شده که در شکل ۴ مشاهده می شوند، ساخته می شوند.



شکل (۴) فیلامان ها و بوتۀ های گوناگونی که در لایه نشانی به روش تبخیر حرارتی به کار گرفته می شوند.

۳- ویژگی های لایه نازک تشکیل شده به روش تبخیر حرارتی مبتنی بر مقاومت الکتریکی :

ماده تبخیر شده در هنگام رسیدن به زیرلایه روی زیر لایه انباشته می شود. مراحل تشکیل لایه روی زیرلایه شامل هسته زایی و رشد است که ویژگی های فیزیکی لایه نشانده شده بر اساس پارامترهای مختلفی که در هسته زایی و رشد موثرند، توضیح داده می شود. در مرحله هسته زایی اتم ها و مولکول هایی که به سطح زیرلایه می رسند انرژی گرمایی خود را که ناشی از حرکت جنبشی آن است روی سطح مصرف می کنند و در واقع آن را به سطح منتقل می کنند. هنگامی که این انرژی به طور کامل از بین رفت مولکول ها به زیرلایه می چسبند و هسته تشکیل می شود. با ادامه یافتن تشکیل این هسته ها، لایه هایی به صورت ورقه های پیوسته شکل می گیرد و سرانجام زیرلایه را می پوشانند و به این ترتیب در حین رشد لایه ریزساختار، لایه نشانده شده گسترش می یابد. این ریزساختار از نظر اندازه ذره ها، جهتگیری آنها، تخلخل، ناخالصی های موجود و گازهای به دام افتاده مورد توجه اند. برهمکنش های شیمیایی میان اتم ها و سطح، قدرت پیوند میان لایه و زیرلایه را معین می کند. برای مثال طلا یک پیوند شیمیایی با دی اکسید سیلیکون (به عنوان زیرلایه) تشکیل نمی دهد، زیرا چسبندگی لایه های طلا روی شیشه بسیار ضعیف است. برای بهبود بخشیدن چسبندگی طلا به شیشه (دی اکسید سیلیکون) می توان یک لایه نازک پیوند دهنده ۵۰۰ آنگسترومی مثلا از جنس کروم یا نایوبوم روی شیشه نشانده و سپس لایه نشانی طلا را انجام داد. کروم و نایوبوم با دی اکسید سیلیکون پیوندهای شیمیایی و با طلا پیوند فلزی برقرار می کنند. اصولا فرایندهای لایه نشانی تحت خلا در میان فرایندهای دیگری مانند لایه نشانی الکتروشیمیایی و پاشش شعله ای که برای ایجاد لایه های نازک استفاده می شود، حائز اهمیت اند. زیرا از لایه نشانی تحت خلا، خلوص شیمیایی بالا، چسبندگی خوب میان لایه نازک و زیرلایه، کنترل تنش مکانیکی لایه، ساخت لایه های بسیار نازک و چند لایه هایی از مواد مختلف و همچنین کمترین میزان به دام افتادگی گاز حاصل می شود.

انرژی جنبشی اتم های فرودی، دمای زیرلایه، نرخ لایه نشانی، انرژی که در هنگام رشد لایه به آن اعمال می شود و حضور و اثر شارش گازها در هنگام انتقال ماده تبخیر شده از منبع به زیرلایه، پارامترهایی هستند که بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی لایه نازک مورد نظر موثرند و با تغییر و کنترل آنها می توان لایه نازکی را که قدرت مکانیکی، چسبندگی، بازتاب نوری، مقاومت الکتریکی، ویژگی های مغناطیسی و چگالی متفاوتی داشته باشد را ساخت.

از روش تبخیر حرارتی مبتنی بر مقاومت الکتریکی برای ساخت لایه های نازک رسانای الکتریسیته، رساناهای شفاف (لایه بسیار نازکی که نور می تواند از آن بگذرد)، لایه های نازک عایق الکتریکی، لایه های نوری، لایه های نازک کنترل کننده حرارت، در صنعت بسته بندی، دکوراسیون و پوشش های تزئینی، لایه های نازک سخت و مقاوم، ادوات ضبط مغناطیسی و پوشش های ضد خوردگی استفاده می شود.

با استفاده از تبخیر حرارتی می توان پوشش های ظریف با ضخامت یکنواخت و سختی مناسب را روی گستره ای از زیرلایه ها با جنس های متفاوت از فولاد تا انواع پلاستیک ایجاد کرد.

۴- مزایا و معایب :

پوشش هایی که با روش تبخیر حرارتی ساخته می شوند را در گستره ای از دماهای مختلف از دمای اتاق تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد می توان روی قطعات گوناگون قرار داد. با این روش پوششی بسیار یکنواخت می توان ایجاد کرد که چسبندگی پوشش یا لایه نازک به زیرلایه را در مقایسه با برخی از روش های پوشش دهی، تا بیش از شش برابر افزایش می دهد. در مقایسه با افزایش طول عمر و کیفیت بالای پوشش، هزینه آن منطقی و حتی پایین ارزیابی می شود. رنگ زیبای حاصل از اکثر پوشش ها امکان استفاده از آنها را در قطعات لوکس و دکوری نیز فراهم نموده است.

منابع:

Milton Ohering, "Materials Science of Thin Films, Deposition and Structure", ۲nd Edition, New York, Academic Press (۲۰۰۲).

h-Daneshmandi