روش های سنتز، آنالیز و کاربردهای لایه های نازک

نویسندگان : صفورا کفاش یزدی، محمدهادی مقیم

سیستم جامع آموزش فناوری نانو

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو در راستای تأمین نیازهای آموزشی دانش آموزان و دانشجویان مقاطع و رشته‌های مختلف و سایر علاقه مندان به علوم وفناوری نانو اقدام به تدوین سیستم جامع آموزش فناوری نانو نموده است. فایل حاضر، فایل ارائه مقاله ای است که در سایت آموزش فناوری نانو با جانمایی:

دوره؛ نانوساختارها

درس؛ لایه های نازک

جلسه؛ سوم

بارگذاری گردیده که به منظور کمک به یادگیری مطالب اصلی توسط کاربر و نیز روان شدن برگزاری کارگاه ها و سمینارهای آموزشی، طراحی شده که در اختیار علاقه مندان قرار گرفته است. استفاده از این فایل ها ضمن کمک به یادگیری بهتر مخاطبان، برگزاری سمینارها و کارگاه های تخصصی را برای نهادهای ترویجی آسانتر خواهد نمود.

روش های اصلی سنتز لایه نازک

روشهای سنتز لایه های نازک به دو دسته عمده **روش های فیزیکی** و **روش های شیمیایی** تقسیم بندی می شوند. این روش ها بسته به پروسه اعمال لایه، منبع انرژی و محیط اعمال لایه نامگذاری می شود.

- در این بین، روش های لایه نشانی بخار شیمیایی جزء متنوع ترین روش های لایه نشانی می باشند.

روش های فیزیکی

- روش های فیزیکی (Physical Method):

روش تبخیری (Evaporation)

روش پراکنش یا کند و پاش (Sputter deposition)

روش تبخیری

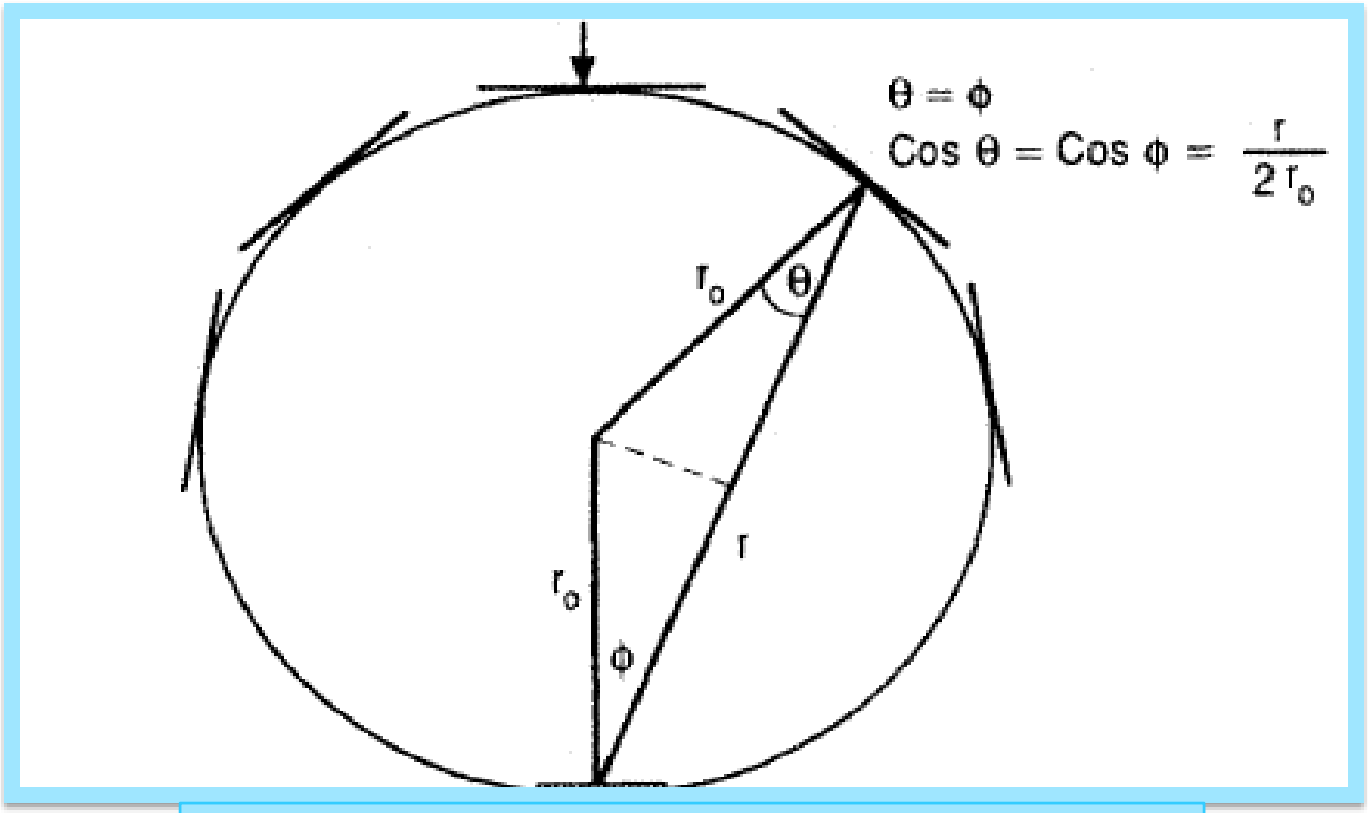
در **روش تبخیری** ماده مورد نظر، درون محفظه ای با فشار معین (معمولاً فشار کمتر از ۱ اتمسفر) قرار می گیرد. سپس با اعمال حرارت، تبخیر شده و بخار حاصل بر روی زیر لایه کندانس می شود. در این روش، نوع و شکل فیلامان گرم کننده روی سرعت پوشش دهی و خصوصیات لایه تشکیل شده تاثیر می گذارد.

- در انتخاب فیلامان بایستی دقت نمود که فشار بخار فیلامان بایستی از فشار بخار تارگت مورد نظر بیشتر باشد تا به هنگام تبخیر تارگت، فیلامان همراه با آن تبخیر نشود.

از جمله موادی که با این روش لایه نشانی می شوند آلومینیوم،کروم، مس، طلا، نیکل، کادمیم، پالادیم، تیتانیم، مولیبدن، تنگستن و تانتالیم می باشد. معمولاً فیلامان ها از یک ماده دیر گداز نظیر تنگستن، مولیبدن یا گرافیت انتخاب می شوند.

http://edu.nano.ir

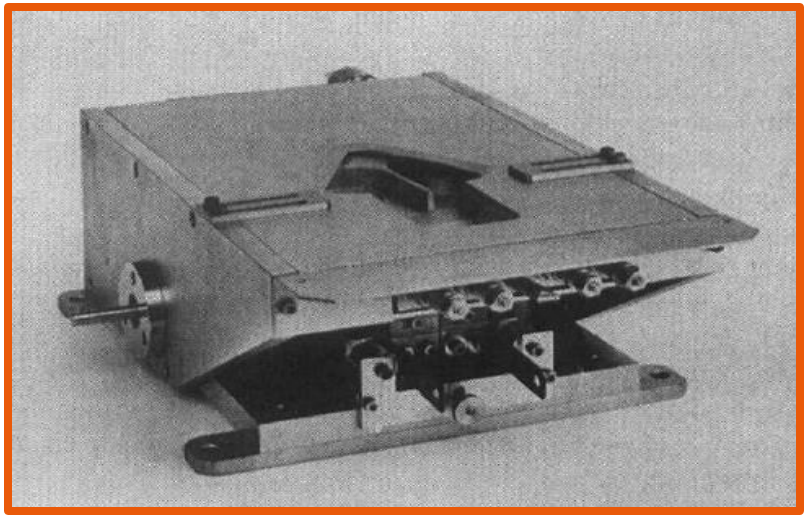
شماتیک روش تبخیری



شماتیک قرارگیری منبع و زیرلایه در روش تبخیری

روش پرتو الکترونی

چنانچه هدف، **ساخت لایه های نازک دیرگداز** مثل تنگستن و تانتالیم باشد، بایستی از روش قوس الکتریکی برای تبخیر تارگت استفاده نمود. در تکنولوژی های بالاتر، از روش پرتو الکترونی با انرژی بالا (**Electron Beam Evaporation**) جهت تبخیر ماده استفاده می شود. در این روش با کنترل ولتاژ شتاب دهنده الکترون، انرژی پرتو الکترونی تنظیم شده و حرارت به صورت متمرکز بر روی تارگت اعمال می گردد.



واحد تبخیر پرتو الکترونی

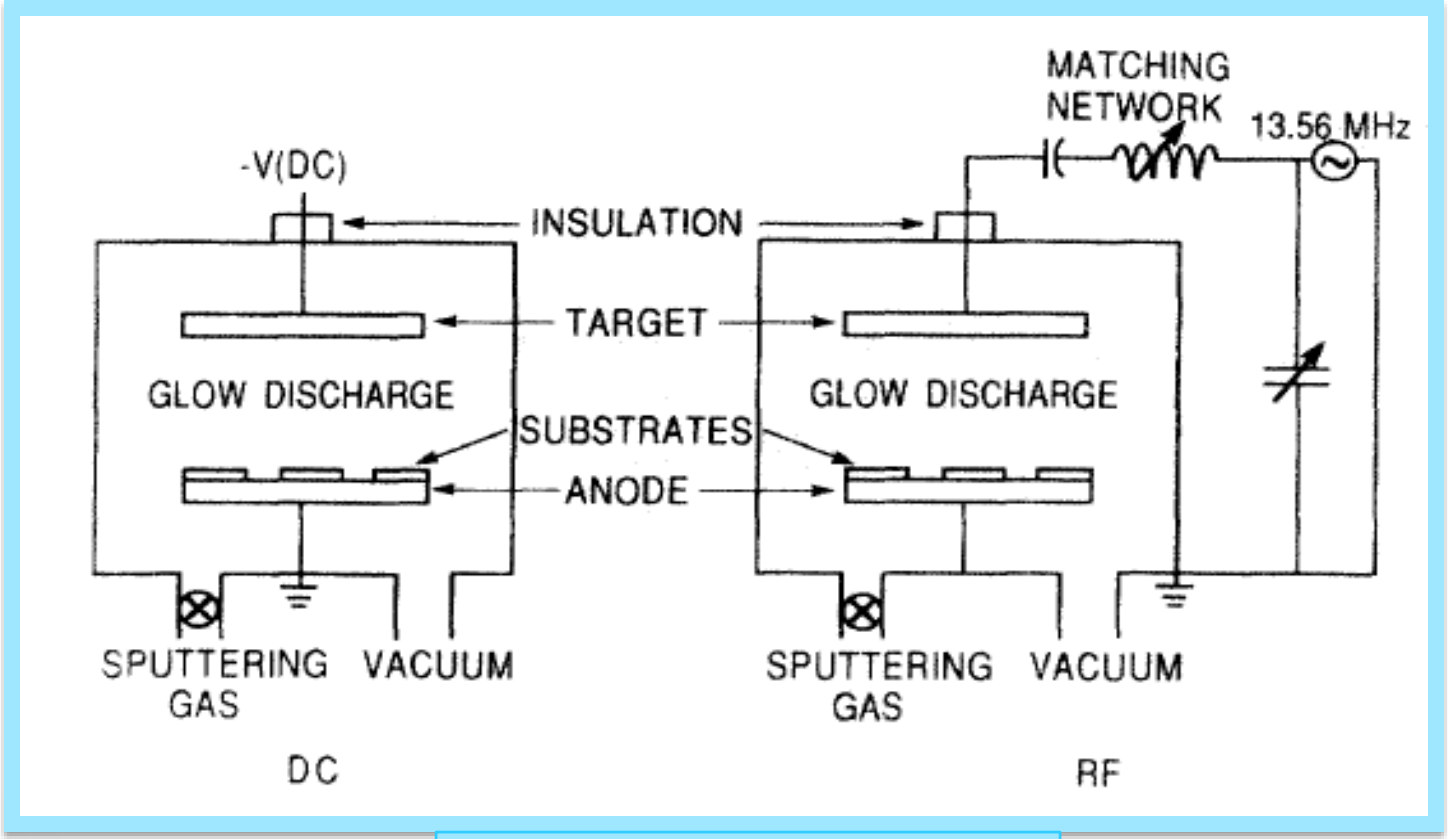
روش پراکنش(کندوپاش)

در **روش پراکنش**، برخورد یون های سنگین و بی اثر مثل آرگون، که در یک میدان الکتریکی شتاب پیدا کرده اند، باعث کندن اتمهای تارگت از سطح و تبخیر آن درون محفظه خلا می شود. سپس این اتم های پراکنده شده بر روی سطح زیرلایه، کندانس می شوند.

- برای تولید لایه های نازک آلیاژی، روش پراکنش مناسب تر از روش تبخیر می باشد. زیرا در روش تبخیری به علت اختلاف فشار بخار جزئی عناصر، دستیابی به لایه نازک با درصد آلیاژی مشخص بسیار مشکل می باشد.
- برای تولید لایه های ترکیبات اکسیدی، نیتریدی و یا سولفیدی می توان به همراه گاز آرگون، مقادیری اکسیژن، نیتروژن و یا گوگرد وارد محفظه نمود.

http://edu.nano.ir

شماتیک سیستم پراکنش



شماتیک ساده سیستم پراکنش

http://edu.nano.ir

روش های شیمیایی

- روش های شیمیایی(Chemical Method):

رسوبدهی شیمیایی بخار(Chemical Vapor Deposition:CVD)

آبکاری الکتریکی(Electroplating)

آبکاری الکترولیز(Electroless Plating)

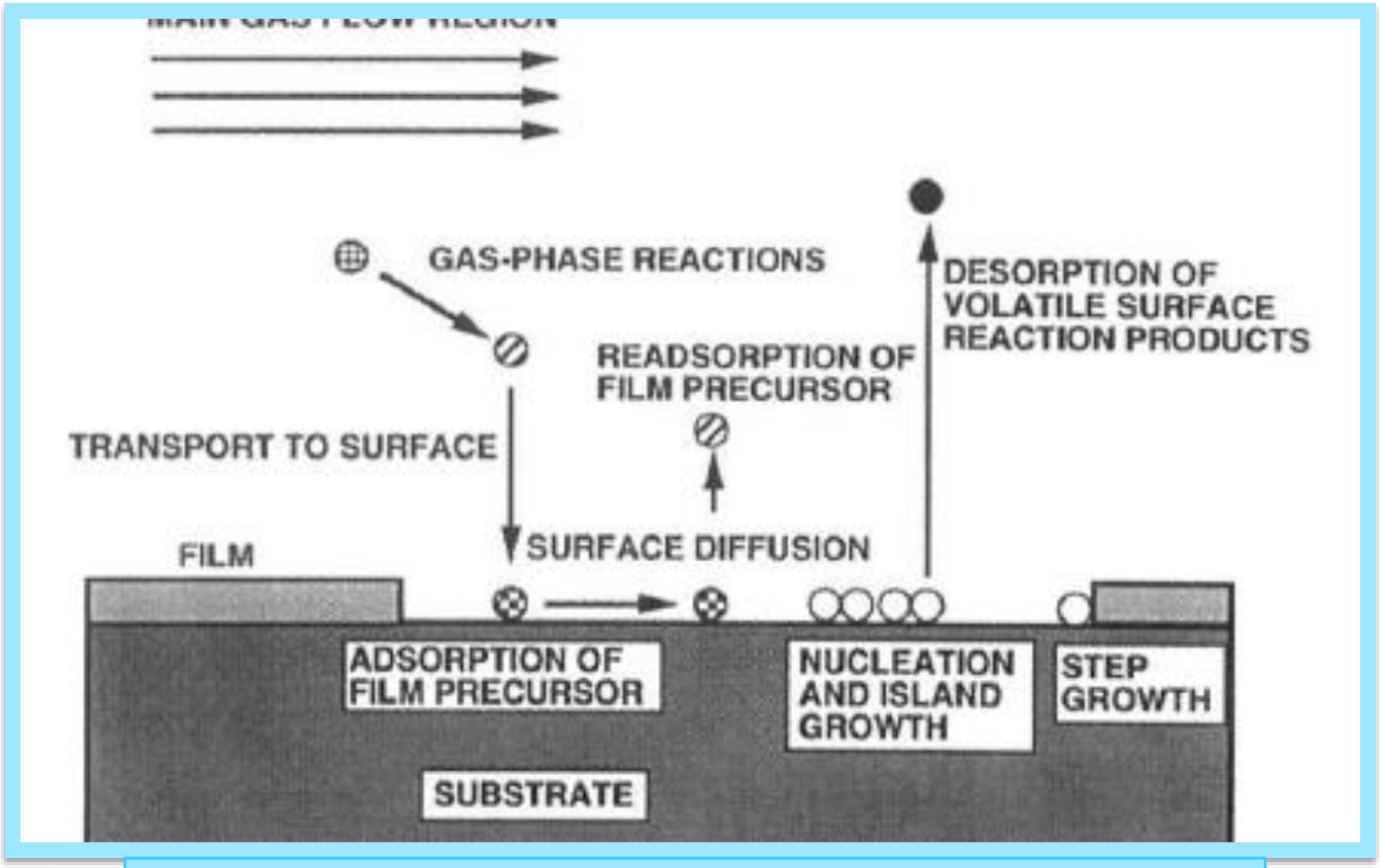
رسوبدهی شیمیایی بخار

در روش **رسوبدهی شیمیایی بخار**، ماده اولیه (Precursor) درون رآکتور قرار می گیرد. سپس، جریان گاز حاوی ماده اولیه که تجزیه شیمیایی شده است، روی زیر لایه کندانس شده و لایه نازک را تولید می کند و در آخر گازها و مواد زائد از درون محفظه خارج می شوند.

- پوشش تولیدی در این روش، دانسیته و خلوص بالایی داشته و جهت کاربردهایی نظیر قطعات الکترونیکی، لایه های نازک نیمه رسانا، لایه های نازک برای ابزار برشی و صنایع هوا-فضا استفاده می شود.

این روش برای انواع مواد شامل عناصر، آلیاژها، نیتریدها، اکسیدها، نانوکامپوزیت ها، نیمه رساناها و ترکیبات بین فلزی مناسب می باشد.

شماتیک انتقال گاز در روش CVD



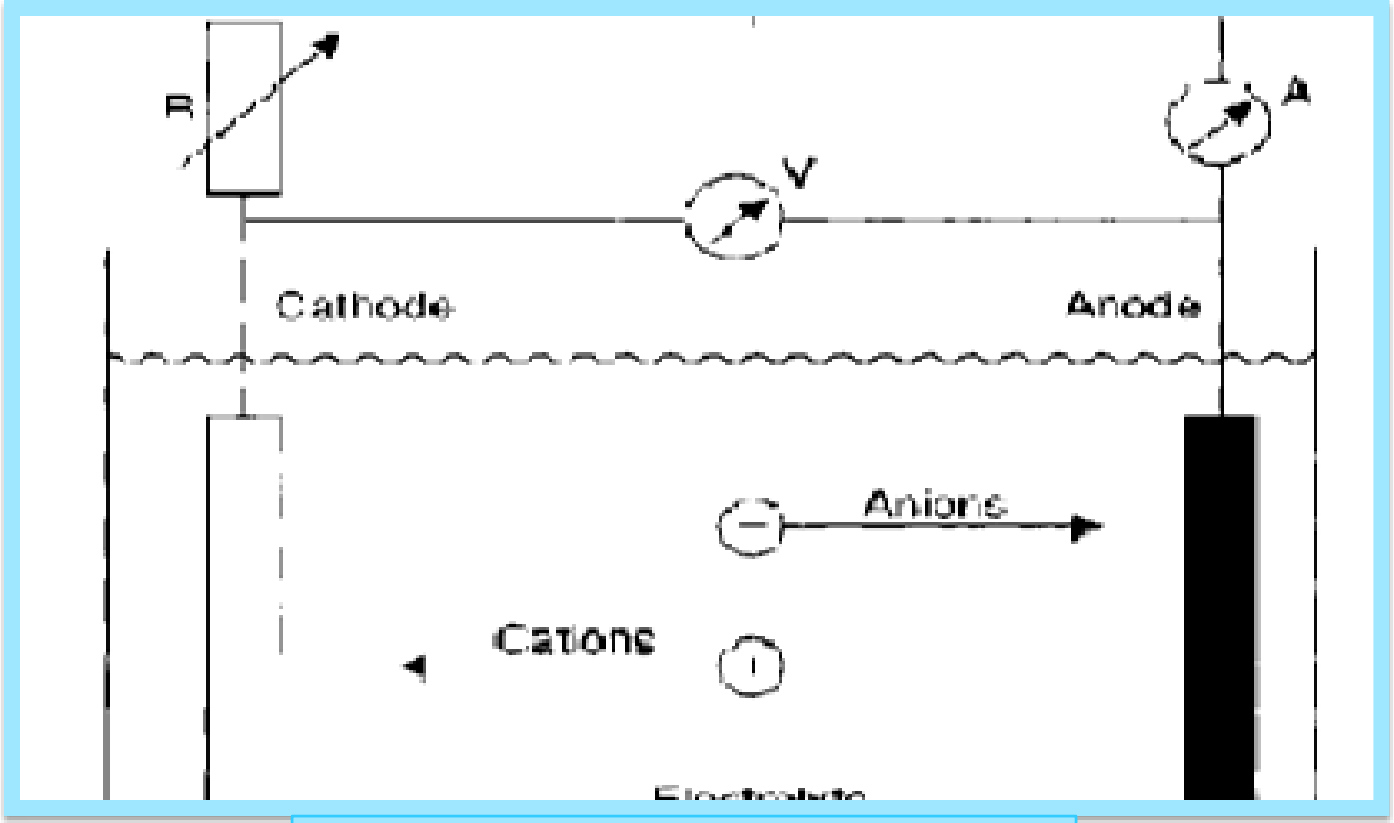
مراحل انتقال گاز و فرایندهای واکنش در تشکیل لایه به روش CVD

آبکاری الکتریکی

- تجهیزات روش **آبکاری الکتریکی** که از روشهای الکتروشیمیایی می باشد، شامل منبع انرژی، کاتد (فلز زیرلایه)، آند (مصرفی یا غیر مصرفی) و حمام الکترولیت، حاوی یون های لایه نازک مورد نظر، می باشد.
- در اثر اختلاف پتانسیل بین کاتد وآند، یون های مثبت فلز در محلول الکترولیت به سمت کاتد رفته و با گرفتن یک یا چند الکترون، به اتم فلزی تبدیل می شوند و به صورت یک لایه روی کاتد (زیرلایه) می نشینند. از طرف دیگر یون های منفی به آند رفته و با از دست دادن الکترون های خود به آند، به یک نمک محلول تبدیل می شود و به محلول باز می گردد. الکترون های جامانده در آند از طریق منبع تغذیه به کاتد می روند و به این ترتیب، جریان الکتریکی در مدار برقرار می شود. نتیجه به دام افتادن این الکترون ها، لایه نشانی یک فلز روی زیرلایه است.

http://edu.nano.ir

شماتیک آبکاری الکتریکی



آبکاری الکتریکی با جریان مستقیم

http://edu.nano.ir

آبکاری الکتریکی

- فاکتورهای مهم در این روش، pH و ترکیب شیمیایی حمام، چگالی جریان، دما و سرعت همزدن حمام می باشد.

- اگر پارامترهای آبکاری بدون تغییر باقی بمانند، سرعت لایه نشانی با افزایش چگالی جریان اعمالی، افزایش خواهد یافت. در نتیجه واکنش های جانبی نیز می توانند اتفاق بیفتند که این واکنش ها کارایی آبکاری الکتریکی را کاهش می دهند.

از محاسن این روش، قابلیت لایه نشانی فلزات، آلیاژها، مواد کامپوزیتی و انجام فرایند لایه نشانی در دمای اتاق می باشد.

http://edu.nano.ir

آبکاری الکترولیز

اساس روش **آبکاری الکترولیز**، مانند روش آبکاری الکتریکی است، با این تفاوت که در روش الکترولس، احیای یون فلزی روی زیرلایه توسط یک احیاکننده و به صورت شیمیایی انجام می شود. در این روش آند و کاتد نداریم و الکترولیت، حاوی یک احیا کننده قوی، و یونی است که بایستی احیا شود.

- برای استفاده از آبکاری الکترولیز روی سطوح سرامیکی، دو انتخاب زبر کردن سطح یا اصلاح شیمیایی آن در دسترس می باشد.

این روش بیشتر محدود به مس و نیکل است ولی بسیاری از محدودیت های روش آبکاری الکتریکی را ندارد.

http://edu.nano.ir

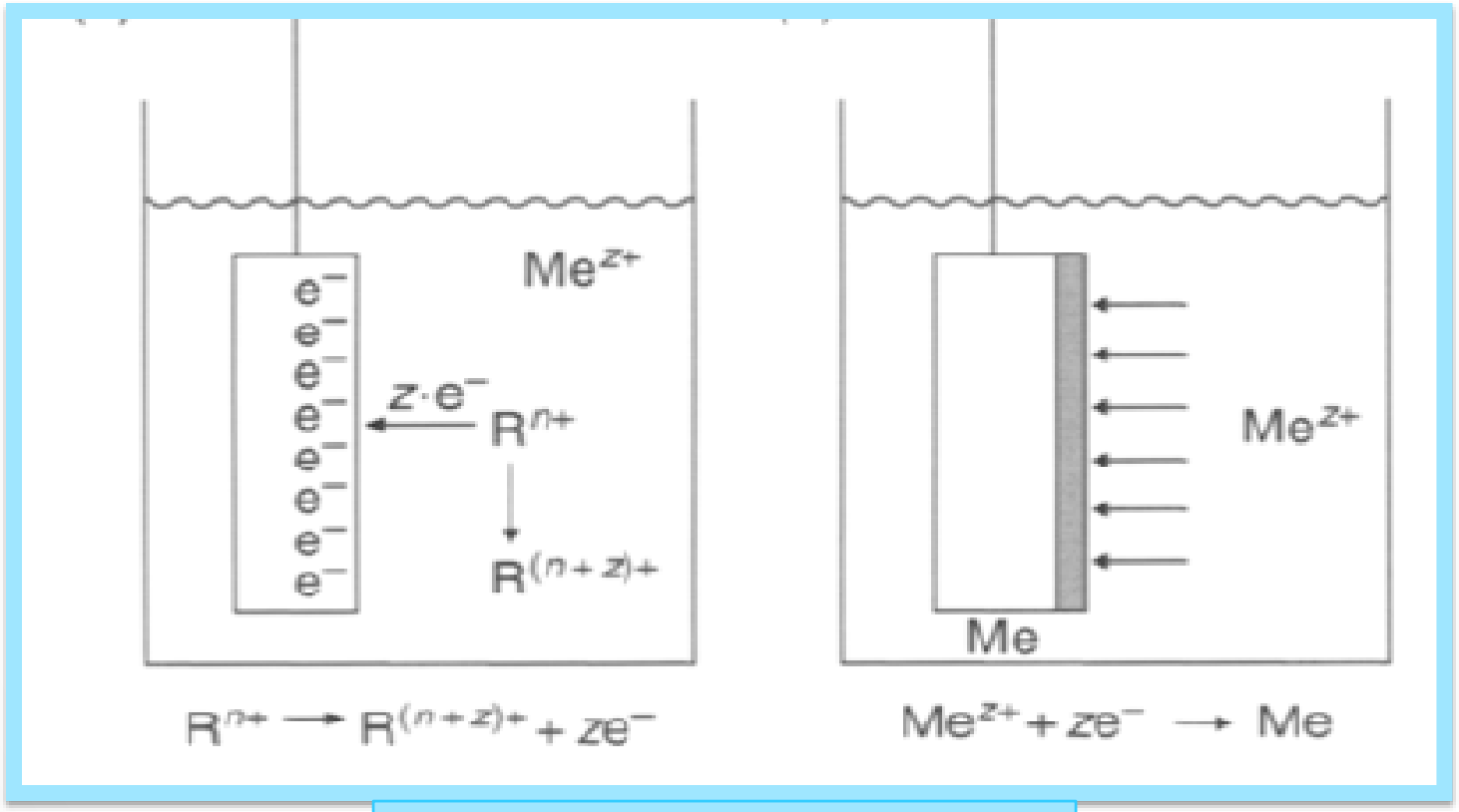
مقایسه آبکاری الکترولیز و الکتریکی

فناوری الکترولیز مزیت هایی نسبت به لایه نشانی الکتریکی دارد که به شرح زیر می باشد:

- به اتصال الکتریکی احتیاج ندارد.
- امکان لایه نشانی برروی سطوح نارسانا، به خوبی سطوح رسانا وجود دارد.
- چون خطوط میدانی وجود ندارد، رسوب ایجاد شده یکنواخت تر است.
- برای پوشش های سه بعدی مناسب است.

http://edu.nano.ir

شماتیک روش الکترولیز



لایه نشانی به روش الکترولیز

http://edu.nano.ir

آنالیز لایه های نازک

روش های آنالیز لایه های نازک همان روش های **آنالیز سطح** می باشد. شناسایی لایه های نازک بایستی هم از لحاظ نوع ماده، هم خصوصیات فیزیکی و هم از حیث ساختار و مورفولوژی صورت گیرد.

عمده ترین روش های آنالیز لایه های نازک:

- XPS (X-ray Photoelectron Spectroscopy)
- AES (Auger electron Spectroscopy)
- SIMS (Secondary Ion Mass Spectroscopy)

http://edu.nano.ir

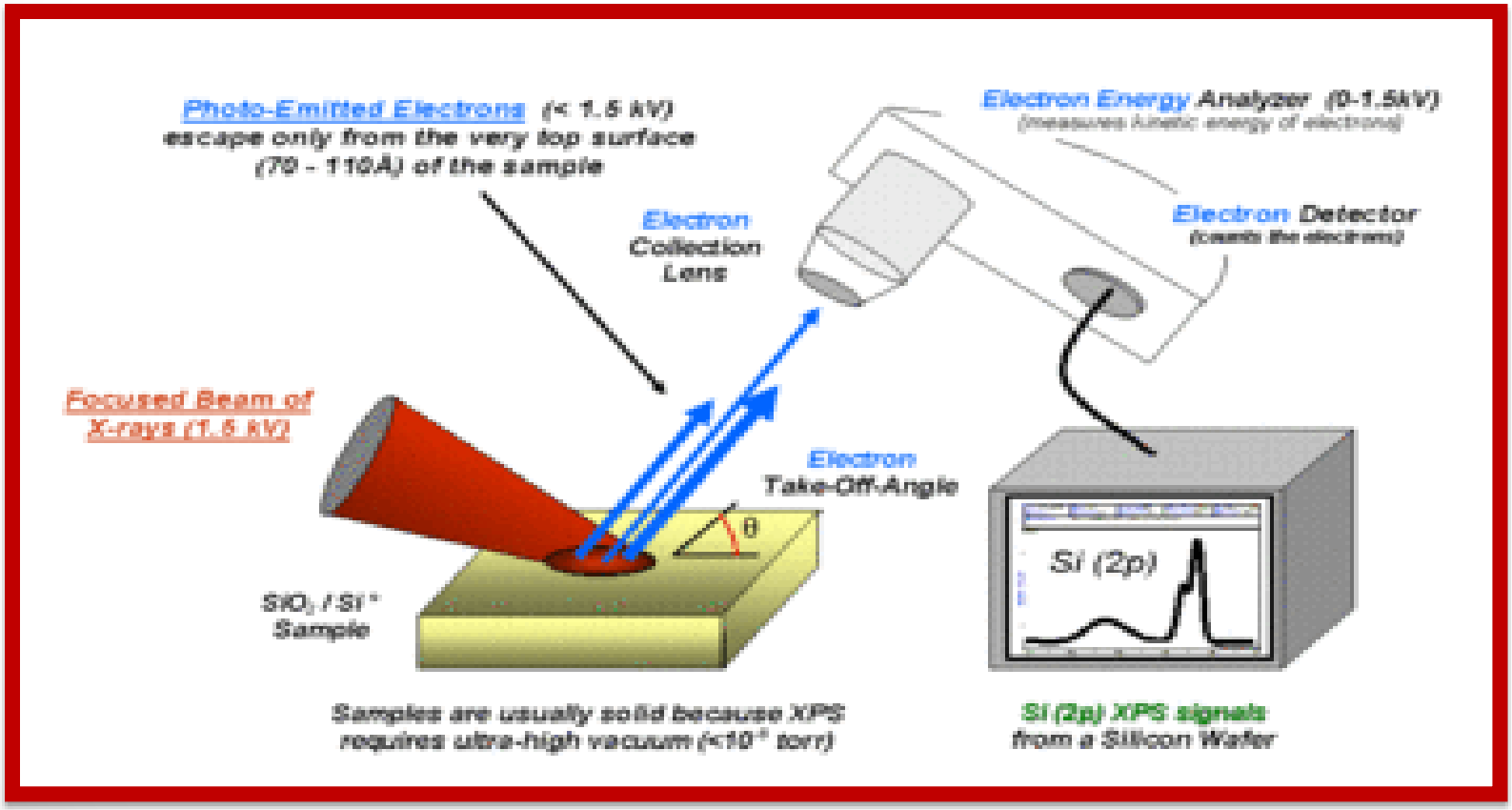
طیف شناسی فوتوالکترون اشعه ایکس(XPS)

روش **XPS** جزء روش های طیف شناسی الکترون است که در آن پرتو ایکس با انرژی بالا به نمونه برخورد کرده و از لایه های به فاصله چند اتم از سطح نمونه، الکترون خارج می گردد. از آنجا که انرژی اتصال الکترون در لایه های اتمی (**Binding Energy**) برای هر عنصر، میزان مشخصی دارد، لذا شناسایی عناصر از این طریق صورت می گیرد.

در این روش علاوه بر آنالیز کمی و کیفی عناصر، شناسایی ترکیب شیمیایی مواد نیز صورت می گیرد.

http://edu.nano.ir

شماتیک XPS



نمونه کار اسپکتروسکوپ فوتوالکترون اشعه ایکس

طیف شناسی الکترون اوژه(AES)

روش **AES** جز روش های طیف شناسی الکترون می باشد. اساس این روش، بر پایه الکترون هایی است که از یک اتم برانگیخته خارج می شوند. در این روش، پرتو الکترونی به سطحی ترین لایه اتمی نمونه برخورد می کند و با برخورد الاستیک خود باعث کندن الکترون های اوژه از سطح ماده می شود.

این روش، از روش های معمول مطالعه آنالیز سطوح است که برای بررسی شیمیایی و ترکیبی سطح از آن استفاده می شود.

http://edu.nano.ir

نمونه تجهیزات AES

اسپکتروسکوپ الکترون اوژه

طیف شناسی جرمی یون ثانویه(SIMS)

در روش **SIMS**، با استفاده از برخورد پرتو یونی (**Ion Beam**) و کنده شدن یون های ثانویه، نسبت جرم به بار یون ثانویه اندازه گیری می شود و از این طریق، می توان نوع عنصر و ترکیب ملکولی سطوح تا عمق ۱-۲ نانومتر را تعیین نمود.

روش SIMS، یکی از روش های آنالیز ترکیبات سطوح و لایه های نازک می باشد. این روش، یکی از دقیق ترین روش های **تشخیص عنصری** سطوح مواد است.

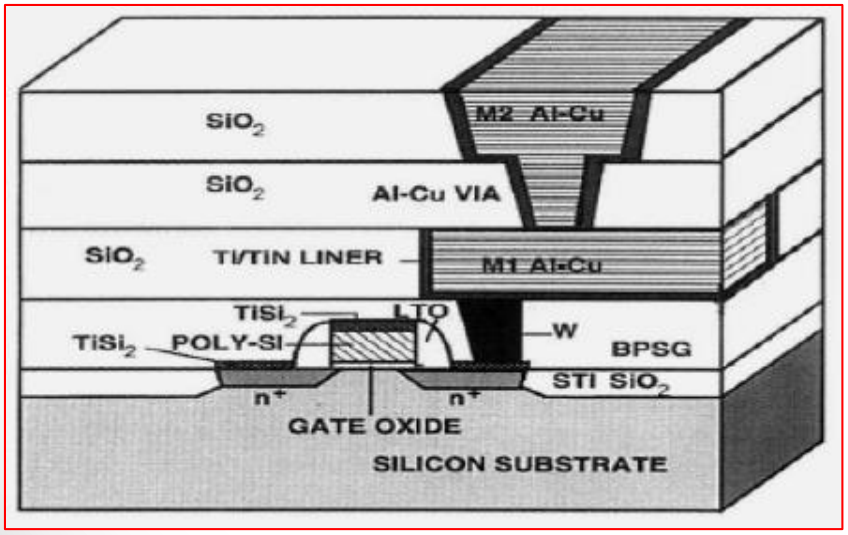
http://edu.nano.ir

کاربرد لایه های نازک

ساخت ترانزیستورهای نیمه هادی

ترانزیستور لایه نازک (TFT)، یکی از انواع ترانزیستورهای اثرمیدان است که از پوشش یک لایه نازک فعال نیمه هادی به علاوه لایه دی الکتریک و فلزی که همگی بر روی یک زیرلایه قرار گرفته اند، بدست می آید. از کاربرد های آن، ساخت ابزار نمایشی کریستال مایع می باشد.

یکی از انواع این ساختارها، شامل یک لایه اکسیدی بین دو لایه فلزی و نیمه هادی (MOS:Metal-Oxide-Semiconductor Transistor) می باشد که در ماکروالکترونیک کاربرد وسیعی دارد.



مقطع عرضی ساختار ترانزیستور MOS

http://edu.nano.ir

کاربرد لایه های نازک

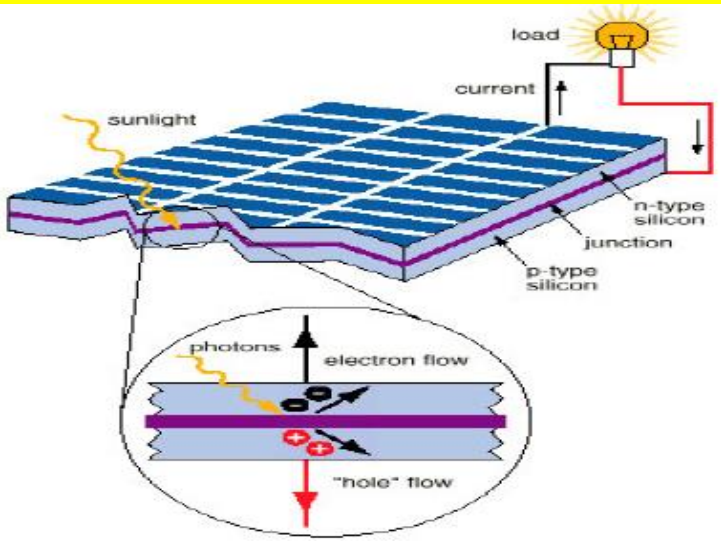
- **ساخت لایه های نازک GMR (Giant Magneto Resistance)**

ساده ترین نوع GMRها، متشکل از یک لایه فرومغناطیس نانومتری(مثل نیکل) می باشد که روی ساختار فلزی غیر مغناطیسی(مثل مس) قرار گرفته است که با قرار گرفتن در میدان مغناطیسی، رسانایی بسیار بالایی در ماده پدید می آورد. به علت امکان افزایش شدید دانسیته ضبط مغناطیسی توسط ساختارهای GMR، در ابزارهای حافظه و ساخت هدهای مغناطیسی(Reading Heads) متداول شده اند.

کاربرد لایه های نازک

- **سلول های خورشیدی**

سلول های خورشیدی، سلول هایی هستند که نور خورشید را غیرمستقیم به الکتریسیته تبدیل می کند. جهت استفاده از انرژی خورشیدی، از صفحه های جمع کننده آلومینیوم- مس یا استیل گالوانیزه استفاده می شود. اما برای کمتر کردن افت گرمایی به صورت هدایت و همرفت، آنها را توسط لایه های نازک، ایزوله و ضدبازتاب می کنند.



نحوه کار سلول خورشیدی(سمت راست)
نمونه سلول خورشیدی(سمت چپ)

http://edu.nano.ir

مشارکت در توسعه سیستم جامع آموزش فناوری نانو

سیستم جامع آموزش فناوری نانو با مشارکت دانشجویان و علاقه مندان در مقاطع دکتری وکارشناسی ارشد گرایش های مختلف فناوری نانو و سایر رشته های مرتبط با این فناوری نوین در حال توسعه است. لذا از تمامی اساتید، دانشجویان، متخصصین و علاقه مندان تقاضا می گردد نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود را به منظور توسعه هر چه بهتر این سیستم با سایت آموزش فناوری نانو در میان بگذارند.

Edu@nano.ir

ستاد ویژه توسعه فناوری نانو
کارگروه ترویج و فرهنگ سازی عمومی

پایان

Edu@nano.ir