





دانشگاه بین المللی امام خمینی

دانشکده علوم پایه

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

فیزیک حالت جامد

اثر دمای پخت بر خواص ساختاری و نیز سختی لایه

نانوذره ای

نیترات زیرکونیوم بر روی استیل ۳۰۴

اساتید راهنما

دکتر مجید مجتهدزاده ، دکتر محمدرضا خانلری

نگارش: فاطمه شاهینی

تیر ۱۳۸۸

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی لطف پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا درسایه

درخت پر بار وجودشان بیاسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان

در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم .

والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم .

آموزگارانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند

حال این برگ سبزی است تحفه درویش تقدیم آنان....

الْحَمْدُ لِلَّهِ الَّذِي هَدَانَا لِهَذَا وَمَا كُنَّا لِنَهْتَدِيَ لَوْلَا أَنْ هَدَانَا اللَّهُ

ستایش خدایی را که ما را بدین [راه] هدایت نمود، و اگر خدا ما را رهبری نمی‌کرد ما خود هدایت نمی‌یافتیم.
"سوره اعراف آیه ۴۳"

با سپاس فراوان از

حمایتها و عشق بی دریغ مادر مهربان و پدر فداکارم

اساتید بزرگوار و فرزانه ام آقایان دکتر مجید مجتهدزاده و دکتر محمدرضا خانلری

که در تمامی مراحل انجام آزمایشات و نگارش پایان نامه همواره راهنمایم بوده اند. همچنین از مساعدتهای تکنیسین محترم آزمایشگاه MBM آقای ملک و مسئولان آزمایشگاه XRD و SEM، خانم افشاری و زنده یاد مهندس لاهوتی کمال تشکر را دارم. در نهایت لازم می دانم از مساعدتهای ریاست و همکاران محترم بخش پرتوهای یونی به ویژه خانم ها سرآبادانی و بلاش آبادی و دیگر همکاران و دانشجویان و اساتید ارجمندی که در طول تحصیل هدایتگر اینجانب بوده اند، تشکر کرده و برای کلیه عزیزان آرزوی توفیق از درگاه ایزد منان دارم.

فاطمه شاهینی

تیر ۸۸

چکیده

فیلم های نیتريد زیرکونیوم به صورت گسترده ای در صنعت استفاده می شوند که این به دلیل رنگ طلایی [۱] و خواص فیزیکی فوق العاده شان از قبیل سختی بسیار بالا [۲ و ۳] و مقاومت خوردگی و گرمایی بالا [۴ و ۵] و مقاومت الکتریکی پایین [۳ و ۶] است. پخت یک تکنیک بسیار مهم برای فهم ساختار میکروسکوپی فیلم ها است، زیرا میکرو ساختار با دما به خوبی فشار تغییر می کند [۳]. مقاومت گرمایی لایه ها دارای اهمیت بسیاری است. مخصوصاً زمانیکه لایه ها در معرض محیطهای اکسیدی در دماهای بالا قرار دارند. رشد لایه اکسیدی تغییرات قابل توجهی در خواص تریبولوژیکی، الکتریکی و شیمیایی لایه ها ایجاد کرده و در نتیجه کاربردهای لایه را محدود می کند. در این تحقیق اثر دمای پخت در مجاورت گاز نیتروژن بر روی لایه نانو ساختاری نیتريد زیرکونیوم بررسی شده است. لایه نشانی با استفاده از روش کندوپاش یونی در خلا $2/2\text{mPa}$ و دمای زیرلایه 400°C صورت گرفت. بررسی خواص میکرو-نانو ساختاری و تعیین فازهای کریستالی فیلم ها با استفاده از آنالیز SEM و XRD انجام گرفت. تصاویر SEM سطح لایه را یکنواخت و بدون نقص نشان داده است. همچنین در نمودارهای XRD شاهد جهت گیری $\text{ZrN}(220)$ قبل از پخت می باشیم که در اثر پخت در دو دمای 400°C و 500°C این جهت بهبود یافته و با افزایش دما لایه به تدریج اکسید شده است. جهت بررسی ضخامت لایه انباشت شده از تکنیک پس پراکندگی رادرفورد (RBS) و برای سختی سنجی از دستگاه میکروسختی سنج و پیکرز استفاده شده است. با توجه به طیف RBS ضخامت لایه همراه با بالا رفتن دما و اکسید شدن افزایش می یابد که این مسئله با توجه به تفاوت حجم مولی ZrN و ZrO_2 توجیه پذیر است. نتایج سختی سنجی نشان داد که سختی مربوط به نمونه در دمای 400°C و 500°C نسبت به نمونه اولیه افزایش یافته که دلیل افزایش سختی مربوط به بهبود جهت ترجیحی $\text{ZrN}(220)$ و بزرگ شدن اندازه دانه می باشد.

شماره صفحه	عنوان
	چکیده
۱	فصل اول: مقدمه ای بر لایه نشانی و پخت
۲	مقدمه
۳	۱-۱ پوشش دهی نانو ساختار
۴	۱-۱-۱ انواع پوشش های نانو ساختار
۴	۲-۱-۱ پوشش نانو ساختار دانه ای
۵	۳-۱-۱ پوشش های شبکه ای و چند لایه ای
۵	۴-۱-۱ پوشش لایه نازک
۷	۵-۱-۱ پوشش های نانو کامپوزیتی
۸	۲-۱ لایه چیست؟
۸	۱-۲-۱ تاریخچه لایه نازک
۹	۲-۲-۱ مزایای لایه نازک
۹	۳-۲-۱ کاربردهای لایه نازک
۱۰	۳-۱ فیزیک رشد لایه های نازک
۱۱	۱-۳-۱ مراحل رشد لایه
۱۵	۴-۱ مدل منطقه ای ساختار لایه های نازک (SZM)
۱۹	۱-۴-۱ اثر دمای زیر لایه و آهنگ انباشت
۲۰	۲-۴-۱ اثر گازهای باقی مانده روی ساختار
۲۰	۵-۱ روشهای ساخت لایه نازک
۲۱	۶-۱ نواقص ساختاری
۲۲	۱-۶-۱ نقایص نقطه ای
۲۳	۲-۶-۱ نقایص خطی
۲۴	۳-۶-۱ نقایص سطحی
۲۷	۷-۱ پخت
۲۷	۱-۷-۱ اهمیت پخت
۲۷	۲-۷-۱ چشم انداز تاریخی پخت
۲۸	۳-۷-۱ پخت مواد
۳۲	فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده
۳۳	۲-۱ خواص زیرکونیوم
۳۵	۲-۲ خواص نیتروژن
۳۶	۳-۲ خواص نیتريد زیرکونیوم

۳۹	۴-۲ مروری بر تحقیقات انجام شده روی پخت ZrN
۴۵	فصل سوم: مراحل انجام آزمایش
۴۶	مقدمه
۴۶	۱-۳ معرفی دستگاه MBM-۱۰۰
۴۸	۱-۱-۳ چشمه یونی
۴۹	۲-۱-۳ چشمه کندوپاش یونی
۵۰	۳-۱-۳ چشمه الکترونی
۵۲	۴-۱-۳ سیستم خلاء و تغذیه گاز
۵۲	۲-۳ مراحل لایه نشانی
۵۲	۱-۲-۳ انتخاب مواد اولیه
۵۳	۲-۲-۳ آماده سازی نمونه ها
۵۳	۳-۲-۳ فرایند کندو پاش یونی
۵۴	۳-۳ فرایند پخت
۵۵	۴-۳ بررسی خواص لایه ها
۵۵	۱-۴-۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۵۶	۲-۴-۳ پراش پرتو X (XRD)
۵۶	۳-۴-۳ آنالیز طیف پس پراکندگی رادرفورد (RBS)
۵۶	۴-۴-۳ سختی سنجی
۵۷	فصل چهارم: تحلیل نتایج
۵۸	مقدمه
۵۸	۱-۴ نتایج آنالیز SEM
۶۲	۲-۴ نتایج پراش پرتو X (XRD)
۷۳	۳-۴ نتایج آنالیز RBS
۸۰	۴-۴ نتایج سختی سنجی نمونه ها
۸۳	نتیجه گیری کلی
۸۷	پیوست الف
۹۱	پیوست ب
۹۴	پیوست ج
۱۰۱	پیوست د
۱۰۵	مراجع

فصل اول

مقدمه ای بر لایه نشانی و بازیخت

مقدمه

مواد نانو به عنوان موادی که حداقل یکی از ابعاد آن (طول، عرض، ضخامت) زیر 100nm باشد تعریف شده اند. 1nm برابر با یک هزارم میکرون یا حدود 1000000 برابر کوچکتر از ضخامت موی انسان است. نانو ذرات از زمانهای بسیار دور مورد استفاده قرار می گرفتند. شاید اولین استفاده آنها در لعاب های چینی سلسله های ابتدایی چین بوده است. در یک جام رومی موسوم به جام لیگرکوس از نانو ذرات طلا استفاده شده است تا رنگهای متفاوتی از جام بر حسب نحوه تابش نور (از جلو یا عقب) پدید آید. البته علت چنین اثری برای سازندگان آنها ناشناخته بوده است. نانو ذرات در حال حاضر از طیف وسیعی از مواد ساخته می شوند، معمول ترین آنها نانو ذرات سرامیکی می باشد، که بخش سرامیک های اکسیدفلزی، نظیر اکسیدهای تیتانیوم، روی، آهن، آلومینیوم و نانو ذرات سیلیکات که عموماً به شکل ذرات نانو مقیاسی خاک رس می باشند، تقسیم می شوند که طبق تعریف حداقل باید یکی از ابعاد آنها کمتر از 100nm باشد [۷]. منظور از یک ماده نانوساختار یا واضح تر یک بدنه نانوساختار^۱ جامدی است که در آن انتظام اتمی، اندازه بلورهای تشکیل دهنده و ترکیب شیمیایی در سراسر بدنه در مقیاس چند نانومتری گسترده شده باشد. مواد نانو موضوع فعالیتهای تحقیقاتی مهمی در سالهای اخیر قرار گرفته اند. با بکار گیری این گونه مواد، کاربردهای متنوع و متعددی نظیر پوشش های جاذب اشعه ماوراءبنفش، پوشش های ضد سایش، ضد خوردگی، ضد انعکاس نور، ضد خراش، کاتالیست ها، لوازم آرایشی و عایق های حرارتی به وجود آمده اند [۱] مقاله پ رنگ. مواد نانو ساختار و پوشش ها، برای پیشرفت های اساسی در صنایع مهندسی، پتانسیلی قوی به شمار می روند که این موضوع بر اساس بهبود در خواص فیزیکی و مکانیکی حاصل از کاهش خواص ریزساختاری است. کمیت چنین خواصی برای نانوساختارها حدود 100 تا 1000 مرتبه از خواص مواد مهندسی حاضر، بیشتر خواهند بود. برای مثال مزایای بالقوه ای نظیر سختی و استحکام بالاتر در فلزات و سرامیک ها حاصل از کاهش اندازه دانه و فاصله لغزش پدید خواهد آمد [۸].

^۱ Nanostructure Solid

۱-۱ پوشش دهی نانوساختار

ارزش بی نظیر نانو ذرات به مساحت سطح ذره بی نهایت بالای آنهاست که آنها را قادر می سازد تا در محدوده وسیعی از کاربردهای متنوع نظیر پوشش ها مورد استفاده قرار گیرند. خواص پوشش های نانو ساختار در بسیاری از موارد نسبت به پوشش های معمولی بهبود چشمگیری دارد. مواد نانومتری به علت بروز پدیده های کوانتومی در ابعاد زیر ۱۰۰ نانومتر دارای خواص منحصر بفردی هستند. پوشش های نانوساختار در مقایسه با پوشش های میکروساختاری از ضریب انبساط حرارتی، سختی و چکش خواری بالاتر و مقاومت بیشتر در برابر خوردگی، سایش و فرسایش برخوردار هستند. میزان پس ماند مغناطیسی و نفوذپذیری این پوشش ها نیز کمتر از پوشش های میکروساختار است. تاکنون عمده تحقیقات انجام شده بر روی پوشش های نانوساختار مربوط به پوشش های با سختی بالا و فوق سخت است. پوشش های فوق سخت، پوشش هایی هستند که سختی آنها بیشتر از ۴۰ گیگا پاسکال است. با کاهش اندازه دانه در پوششها، تحرک و تکثیر نابجایی ها کاهش یافته و سختی بر اساس رابطه هال-پچ افزایش می یابد [۹]. لازم به ذکر است که رابطه هال-پچ که به تغییر شکل پلاستیک در موادی که اندازه دانه آنها بیشتر از ۱۰۰ nm باشد مربوط می شود. برای دانه های ریزتر به دلیل وجود سازوکار های دیگری نظیر لغزش مرزهای دانه و یا چرخش دانه که موجب تغییر شکل مواد می شوند سازوکار هال-پچ قابل استفاده نمی باشد [۱۰ و ۱۱]. از مهمترین صنایعی که به راحتی قادر به استفاده از پوشش های نانوساختاری هستند می توان به صنایع خودروسازی، صنایع شیشه، بسته بندی، ساخت لوازم بهداشتی، حمل و نقل و صنایع نظامی اشاره کرد. نانو ذرات برخی از مواد برای پوشش های نانو ساختاری مورد توجه خاصی واقع شده اند و حتی در برخی کاربردهای دیگر نیز به طور گسترده مورد استفاده واقع شده اند. از مهمترین این مواد به دی اکسید تیتانیوم، اکسید مس، اکسید روی و آلومینا می توان اشاره کرد [۷].

۱-۱-۱ انواع پوشش های نانو ساختار

گروه های مهم پوشش های نانو ساختار به صورت پوشش های دانه ای، و پوشش های شبکه ای و چند لایه ای، پوشش های لایه نازک و پوشش های نانو کامپوزیتی هستند. این پوشش ها به دلیل رفتار سایشی عالی، مقاومت به خوردگی مطلوب و خواص اپتیکی، الکتربیکی و الکترونیکی مناسب در صنایع هوا فضا، خودروسازی، مهندسی پزشکی و بسته بندی مورد استفاده قرار می گیرند [۱۲].

۱-۱-۱ پوشش نانو ساختار دانه ای

برای تولید پوشش دانه ای از نانو ذراتی استفاده می شود که ابعاد کمتر از ۵۰ نانومتر داشته باشند. نانو ذرات از مهمترین ساختارهایی هستند که به عنوان پوشش به سطح قطعات رسوب داده می شوند. نانو ذراتی مانند دی اکسید تیتانیوم، اکسید مس، اکسید روی و آلومینا از این دسته اند. برای نمونه از نانوذرات آلومینا با خلوص ۹۹/۵ درصد و اندازه متوسط ۳۶ نانومتر می توان در پوشش های مقاوم به خراشیدگی، پوشش های نیمه رسانا و پوشش های محافظ در برابر پرتو ماوراء بنفش استفاده کرد. بعلاوه می توان ذرات نانومتری آلومینا را بدون تغییر در ترکیب شیمیایی آن در رنگ های مختلف استفاده کرد. استفاده از پوشش دهی نانومتری موجب می شود که قطعات نیاز به رنگ مجدد نداشته باشند و علاوه بر آن سبکتر و دارای طول عمر بیشتری باشند. از نانو ذرات آلومینو سیلیکات به عنوان ماده دیگری در پوشش دهی می توان استفاده کرد. این ذرات کروی شکل بوده و بدون رنگ هستند و سطح آنها عاری از گروه های هیدروکسیل می باشند مهم تر اینکه با یکدیگر کلوخه نمی شوند و سطوح پوشش داده شده با این مواد دارای مقاومت بالا در برابر ورقه شدن و خرد شدن می باشند [۱۳ و ۱۴]. پوشش های نانو ساختار، انواع مختلفی دارند. استحکام و سختی پوشش های نانو ساختار پژوهشگران را در استفاده از آنها در ادوات نظامی ترغیب کرده است. در استفاده از پوشش های نانومتری هدف هایی نظیر افزایش طول عمر و کاهش هزینه های تعمیر مدنظر است. برای این منظور، نانو ذرات، آلومینا و تیتانیا

در پوشش‌های ادوات نظامی قابل استفاده هستند. استفاده از پوشش‌های سرامیکی در ادوات دریایی، هزینه‌ها و صدمات ناشی از خوردگی را به شدت کاهش می‌دهد. این پوشش‌ها در محور پروانه‌ها، محور پریسکوپ و بالغ بر ۱۵ قطعه دیگر در ادوات دریایی کاربرد دارند [۱۴].

۳-۱-۱ پوشش‌های شبکه‌ای و چند لایه‌ای

این پوشش‌ها از هزاران لایه و هر لایه با ضخامتی در حدود ۱ تا ۵ نانومتر ساخته می‌شوند. هر لایه ساختار بلوری خاصی دارد و از عناصر مختلفی نظیر نیکل، تیتانیوم، وانادیوم و آلومینیوم ساخته می‌شود و با استفاده از کاشت یون و تحت یک محیط خلأ، عناصر فوق روی قطعات تشکیل شده است. این پوشش‌ها بسیار متراکم هستند و چگالی بالایی دارند و به عنوان پوشش‌های چندلایه با دانسیته بالا نیز شناخته می‌شوند. استفاده از این نوع پوشش‌ها روی قطعات صنعتی باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی آنها و همچنین دوام قطعات شده است. پوشش‌های شبکه‌ای به غیر از کاشت یون بوسیله روش‌های دیگر نظیر کند و پاش مغناطیسی نیز بر روی قطعات رسوب داده می‌شوند. چون در روش CVD امکان ایجاد نفوذ بین لایه‌ها وجود دارد از این روش استفاده نمی‌شود. از مهمترین پوشش‌های شبکه‌ای می‌توان به پوشش‌های ALN/ZrN و TiN/CrN و CrN/ALN اشاره کرد [۱۵].

۴-۱-۱ پوشش لایه نازک

پوشش‌های لایه نازک به عنوان یک دسته از خانواده پوشش‌های نانو ساختار محسوب می‌شوند. پوشش‌های لایه نازک از لایه‌های متناوب با فازهای مختلف تشکیل شده‌اند. تفاوت فازی فیلم‌های نازک در این ساختار چندلایه در زمره ساختارهای نانوکامپوزیتی قرار می‌گیرند. این لایه‌ها سختی و مدول الاستیک بالا و خواص سایشی خوبی دارند. مدول الاستیک در فیلم‌های چندلایه بیشتر از

فیلم‌های نازک تک لایه همگن با همان اجزا می‌باشد دلیل این امر تأثیریک فصل مشترک ناهم سیما بین لایه های مجاور هم می‌باشد که باعث جابجایی اتم‌ها از موقعیت تعادلی شده و بنابراین در طول اعمال بار تمام لایه‌ها تحت فشار قرار گرفته که این امر باعث مقاومت بالا در برابر تغییر شکل در این مواد می‌شود دلیل افزایش سختی پوشش‌های نازک چندلایه، قرار گرفتن لایه‌های خیلی نازک با طول خط نابجایی متفاوت روی هم و در نتیجه نزدیک شدن استحکام به حد تئوری آن است. به دلیل متفاوت بودن طول خط نابجایی‌ها در هر لایه، نابجایی‌ها نمی‌توانند از یک لایه به لایه دیگر حرکت کنند چرا که طول خط نابجایی‌ها متفاوت است. همچنین لایه‌ها به قدری نازک هستند که منابع نابجایی بطور مستقل وارد عمل نمی‌شوند بنابراین سختی این پوشش‌ها افزایش چشم‌گیری می‌یابد. روش‌های مرسوم رسوب پوشش‌های لایه نازک شامل روش‌های رسوب فیزیکی بخار، رسوب شیمیایی بخار و رسوب الکتروشیمیایی هستند [۱۷ و ۱۶].

روش دیگری که برای پوشش‌دهی لایه نازک استفاده می‌شود روش لایه به لایه نام دارد. این روش بر اساس ایجاد چند لایه روی یک ماده زیرلایه استوار است. بطوریکه هر دو لایه باردار دارای بار الکتریکی مخالف هستند. این رسوب‌دهی به شکل متناوب انجام می‌شود تا اینکه ضخامت مورد نیاز حاصل گردد. در سال‌های اخیر این روش توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این نوع پوشش دهی را برای قطعات هوایی و استخوان مصنوعی می‌توان بکار گرفت [۱۸ و ۱۶].

۱-۱-۵ پوشش‌های نانوکامپوزیتی

به تازگی پوشش‌های نانوکامپوزیتی پیشرفته‌های قابل توجهی داشته‌اند و در بین چهار نوع پوشش نانوساختار، این پوشش‌ها بیشترین کاربرد را دارند زیرا با استفاده از آنها می‌توان خواص منحصر بفرد شیمیایی و فیزیکی را بر روی سطح قطعات ایجاد نمود. فاز نانوبلوری در فاز بی‌شکل جاسازی شده است. فاز بی‌شکل می‌تواند پوشش‌های شبه الماسی کربونیتريد یا برخی ترکیبات دیگر با سختی و مدول الاستیک مناسب باشد. به عنوان فاز تقویت کننده و نانوبلوری نیز از TiN ، AlN و Si_3N_4 می‌توان استفاده کرد. به عنوان مثال با جاسازی ذرات TiN با اندازه‌های ۸ تا ۱۱ نانومتر در پایه DLC می‌توان سختی در حدود ۵۰ تا ۷۰ گیگاپاسکال بدست آورد [۱۹].

از آنجایی که اندازه مواد نانوبلوری در زمینه‌های بی‌شکل در حد چند نانومتر است، نابعایی‌ها به راحتی تشکیل نمی‌شوند بنابراین تغییر شکل پلاستیکی کمتر رخ می‌دهد و تغییر شکل پلاستیکی از طریق تغییر شکل شبه پلاستیکی که در آن نانوبلورها برخلاف هم حرکت می‌کنند، صورت می‌گیرد. چون این فرآیند انرژی بالاتری نیاز دارد، مقاومت به تغییر شکل پلاستیکی در این مواد نسبتاً بالاست. برای بدست آوردن چکش‌خواری و سختی مناسب می‌توان کسر حجمی، اندازه و نحوه توزیع ذرات را تنظیم کرد. توزیع یکنواخت ذرات در زمینه باعث ایجاد مقدار بهینه نابعایی‌ها در نانوساختار می‌شود که این امر منجر به تنظیم خودبخود تغییر شکل پوشش‌های نانوکامپوزیتی از الاستیک به پلاستیک حین اعمال بار می‌گردد. بنابراین سازگاری پوشش‌ها بهبود یافته واز شکست ترد اجتناب می‌شود. چنین نانوکامپوزیت‌هایی در کاربردهایی که در معرض سایش هستند بسیار مفید واقع می‌شوند. توزیع ذرات بایستی به نحوی باشد که فاصله بین دو ذره نانوبلوری در حد نانومتر باشد. اگر این فاصله زیاد باشد باعث ایجاد ترک و گسترش آن در ماده زیرلایه می‌گردد. فاصله بیش از حد کم بین این ذرات نیز امکان ایجاد واکنش بین ضخامت اتمی و دانه‌های نانوبلور را به وجود می‌آورد. لذا در طراحی

و ساخت پوشش‌های نانوکامپوزیتی، اندازه، درصد حجمی و توزیع این ذرات فاکتورهای مهمی هستند و تغییر هر یک از این موارد روی چکش‌خوای و سختی پوشش تأثیر خواهد گذاشت. روش‌های مختلفی برای پوشش‌دهی نانوکامپوزیت وجود دارد اما اغلب روش کند و پاش مغناطیس، پاش حرارتی و رسوب شیمیایی بخار استفاده می‌شود.

۱-۲ لایه چیست؟

لایه یا پوشش به ماده یا موادی گفته می‌شود که به صورت پوششی بر یک سطح یا ماده دیگر سبب ایجاد خواص الکترونیکی، فیزیکی و مکانیکی جدید می‌شوند که نه خصوصیات ماده تشکیل دهنده را داشته باشد و نه خصوصیات سطحی که لایه بر روی آن انباشت شده است. لایه‌ها را می‌توان به لایه‌های فلزی، نیم رسانا و عایق از مواد معدنی و عالی تقسیم کرد [۲۰].

لایه نازک به لایه‌ای اطلاق می‌شود که ضخامت آن حدوداً کمتر از $1\ \mu\text{m}$ باشد [۲۱].

۱-۲-۱ تاریخچه لایه نازک

تاریخچه لایه نازک به قدمت هنر طلاکوبی یعنی حدود چهار هزار سال قبل برمی‌گردد. اولین بار از این هنر در مصر در طلاکوبی مجسمه‌ها و وسایل تزئینی استفاده شده است. ضخامت ورقه‌های طلا بین سالهای ۱۵۷۶-۱۳۲۰ قبل از میلاد ۰٫۳ میکرون اندازه‌گیری شده است. امروزه این مقدار تا ضخامت $500\ \text{\AA}$ عملی است در مقام مقایسه این نکته قابل ذکر است که قطر موی انسان ۷۵ میکرون است [۲۱].

احتمالاً اولین لایه نازک در آزمایشات علمی در سال ۱۸۳۸ به روش الکترولیز^۱ توسط بونس^۲ و گرا^۳ بدست آمد که توانستند لایه نازک فلزی را از واکنش شیمیایی و کندوپاش تخلیه نورانی بدست آورند.

^۱ Electrolysis
^۲ Bunsen
^۳ Grove

۱-۲-۲ مزایای لایه نازک

مزایای لایه نازک را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- ۱- اندازه: به علت کوچک بودن اندازه ها و داشتن حداقل وزن و حجم به طور مثال در سطح مقطع مقاومت ها ولایه های نازک دی الکتریک در خازن کاربرد دارد.
- ۲- ارزش اقتصادی: ارزان بودن قیمت تمام شده قطعات که مرتبط با کوچک کردن اندازه ها است.
- ۳- ضریب اطمینان: بالا بودن ضریب اطمینان و کارایی در قطعات اپتیکی و الکترونیکی [۲۱].

۱-۲-۳ کاربرد های لایه نازک

کاربرد های لایه های نازک را می توان به شکل زیر تقسیم بندی کرد:

الف- کاربرد در مکانیک

- ۱- لایه های نازک می توانند به صورت لایه هایی جهت کاهش اصطکاک و پوشش های ضد خوردگی بار قسمت های مختلف مکانیکی را کاهش دهند. به طور مثال پوشش شیشه با تیتانیوم باعث افزایش مقاومت آن می شود [۷ص].

ب- کاربرد در الکترونیک و میکروالکترونیک

تکنولوژی لایه نازک در پیشرفت صنایع کامپیوترهای دیجیتال و دیگر سیستم های الکترونیکی نقش بسزایی داشته است که از جمله می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- استفاده از لایه های اسپاتر شده Mo یا W در ساخت الکترودهای کیت قطعات VLSI^۱
- استفاده از لایه های نازک سد نفوذ^۱ برای جلوگیری از افت خواص مکانیکی و الکترونیکی در

مدارات

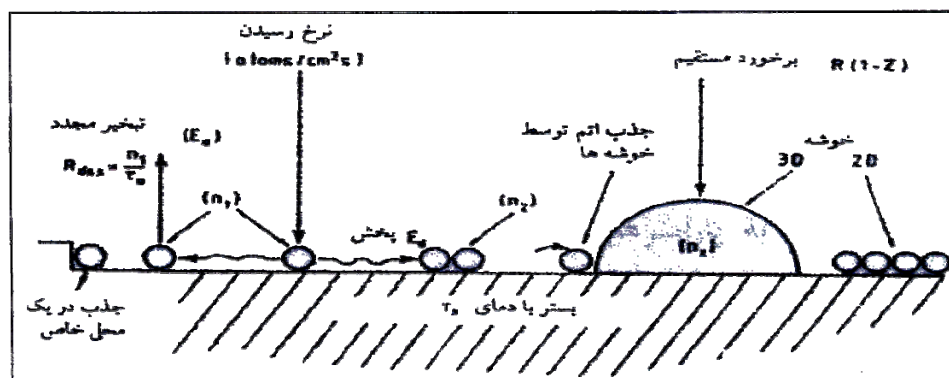
^۱Very Large Scall Integrated Circuit

ج- کاربرد در خودروسازی

در صنایع اتومبیل، برای کاستن وزن خودرو، می توان قطعات فلزی را با پلاستیک پوشش داده شده با ماده ای سخت تعویض کرد. پلاستیکهای شفاف می توانند برای پنجره اتومبیل مورد استفاده قرار گیرند. اما چون دارای سختی لازم برای این منظور نیستند لذا با نشاندن لایه ای از یک ماده شفاف غیر عالی روی پلاستیک آن را سخت می کنند [۲۰].

۳-۱ فیزیک رشد لایه های نازک

از دهه ۱۹۲۰ میلادی تحقیق درباره فرایندهای تشکیل لایه نازک آغاز شد. اتم ها و یا مولکولهای ماده مورد نظر برای ساخت لایه نازک باید از چشمه به روی جسم دیگری که بستر نامیده می شود فرستاده شوند. اتم های گسیل یافته با نزدیک شدن به سطح ممکن است در یکی از موقعیت های نشان داده شده در شکل (۱-۱) قرار گیرند. برخی از اتم ها بلافاصله از روی سطح بلند شده و بعضی دیگر مدتی روی سطح شروع به حرکت کرده تا انرژی خود را از دست داده و در مکانی جای بگیرند و یا اینکه مجدداً از سطح جدا می شوند. اتم هایی که جای گرفته اند با یکدیگر تشکیل خوشه های بزرگتری را می دهند که این خوشه ها نیز با رشد بیشتر می توانند جوانه های پایدار تشکیل دهند [۲۰].



شکل (۱-۱) نمایی از فرآیندهایی که روی بستر رخ میدهد

فرآیند مربوط به تشکیل لایه نازک شامل سه مرحله اصلی است:

۱- تبدیل ماده به صورت ذرات اتم، مولکول و یا یون مناسب.

۲- انتقال آنها از منبع تولید تا بستر در یک محیط مناسب.

۳- چگالش این ذرات بر روی بستر و ایجاد لایه

شکل گیری یک لایه نازک با فرآیند هسته سازی^۱ رشد انجام می شود. مرحله به مرحله فرآیند رشد

را می توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱-۳-۱ مراحل رشد لایه:

۱- اتم ها، مولکولها و یا یونها در برخورد با بستر مولفه عمودی سرعت خود را از دست می

دهند (به شرطی که انرژی آنها در حین برخورد با بستر زیاد نباشد) و به طور فیزیکی جذب بستر می شوند.

۲- گونه های جذب شده (اتم ها مولکولها و یا یونها) در ابتدا با بستر در تعادل گرمایی نبوده در

سطح بستر حرکت و با یکدیگر برهمکنش می کنند و در نتیجه خوشه هایی^۱ از آنها در سطح بستر تشکیل می گردد.

^۱Nucleation

۳- خوشه ها از نظر ترمودینامیکی ناپایدار و تمایل به شکستن (حل شدن) دارند که زمان این عمل بستگی به پارامترهای نشانش دارد. اگر این پارامتر به صورتی باشد که یک خوشه قبل از اینکه تجزیه شود با گونه های دیگر جذب شده به بستر برخورد کند اندازه آن بزرگتر می شود. زمانیکه اندازه یک خوشه به یک مقدار آستانه برسد از نظر ترمودینامیکی پایدار شده و گفته می شود که بر سد هسته سازی فائق آمده است این مرحله که شکل گیری هسته های پایدار با اندازه های آستانه می باشد هسته سازی نامیده می شود.

۴- تعداد و اندازه آستانه هسته ها (خوشه ها) به تدریج افزایش یافته تا به یک وضعیت اشباع می رسند. چگالی هسته ها و اندازه متوسط هر کدام بستگی به پارامترهایی از قبیل انرژی ذرات در حین برخورد به بستر، تعداد ذرات برخوردی به سطح در واحد زمان، انرژی های مربوط به جذب سطحی و تفکیک پذیری پارامترهای دیگری مانند دما، ساختار و طبیعت شیمیایی بستر دارد. هسته های رشد یافته را جزیره نیز گویند.

۵- مرحله بعد در شکل گیری یک لایه مرحله انعقاد یا به هم آمیختگی^۲ است. در این مرحله جزیره های کوچک به یکدیگر متصل می شوند. این تمایل در ایجاد ذره های بزرگتر را به هم پیوستگی^۳ گویند که این عمل با افزایش پویایی سطحی گونه های جذب شده تسریع می یابد. بالا بردن دمای بستر باعث افزایش پویایی گونه ها می شود.

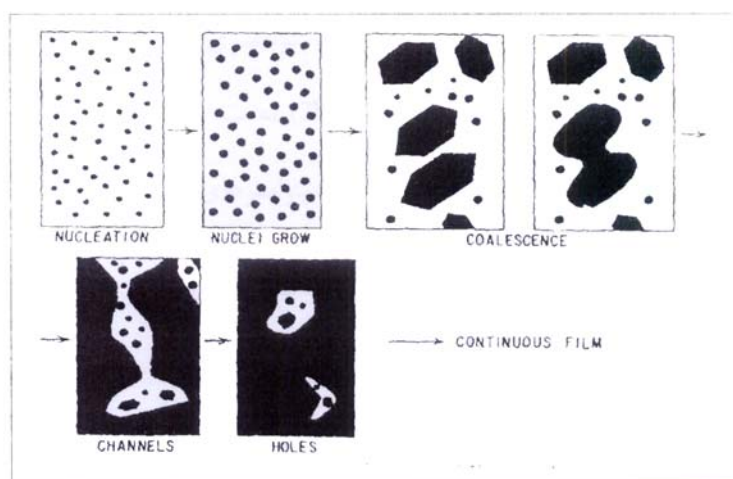
۶- جزیره های بزرگتر با هم رشد می کنند و حفره ها و کانالهایی را بر روی بستر ایجاد می کنند. در این مرحله ساختار لایه عوض شده و از حالت جزیره ای ناپیوسته به صورت شبکه ای متخلخل در می آید. چنانچه در ادامه فرایند این کانالها و حفره ها پر شوند یک لایه کاملاً پیوسته شکل خواهد گرفت [۲۲].

^۱ Cluster

^۲ Coalescence

^۳ Agglomeration

فرایند رشد یک لایه می تواند به صورت یک فرایند آماری مداوم متشکل از: هسته سازی، پخش سطحی کنترل شده دو بعدی هسته ها و تشکیل جزیره های بزرگتر، شکل گیری ساختار مشبک و به دنبال آن پر شدن حفره ها و کانالها خلاصه شود (شکل (۲-۱)).



شکل (۲-۱) مراحل رشد لایه [۲۲]

با توجه به شدت نسبی بر همکنش بین اتمهای انباشت و اتمهای زیرلایه رشد فیلم به سه نوع تقسیم می شود:

۱- رشد جزیره ای سه بعدی یا ولمر وبر^۱

۲- رشد لایه ای دو بعدی یا فرانک - مرو^۲

۳- رشد استرانسکی - کراستانوف^۳

که شامل رشد لایه ای و جزیره ای است. طرح این سه نوع رشد در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.

^۱Welmer-Weber
^۲Frank-Merwe
^۳Stranski-Krastanove