

رسالة محمد



دانشگاه آزاد اسلامی

واحد تهران مرکزی

دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M. Sc.)

گرایش: اتمی - مولکولی

عنوان:

بررسی تاثیر دمای بازپخت در نانو ساختار لایه‌های نازک اکسید مولیبدن

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر خجیر

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر زارع

پژوهشگر:

سمیرا ذوالقدر

تابستان ۱۳۹۱

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

تشکر و قدردانی: با تشکر از جناب آقای دکتر خجیر به جهت حمایت‌های بی‌دریغشان و پیگیری‌های مستمر و دلسوزانه ایشان که منجر به تهیه مجموعه فوق شده است و هم چنین با تشکر و سپاس از جناب آقای دکتر زارع که در این راه به اینجانب کمک نموده اند.

بسمه تعالی

## تعهد نامه اصالت پایان نامه کارشناسی ارشد

اینجانب سمیرا ذوالقدر دانشجوی کارشناسی ارشد رشته فیزیک با شماره دانشجویی ۸۸۱۰۶۸۹۱۱۰ اعلام می‌نمایم که کلیه مطالب مندرج در این پایان نامه با عنوان : بررسی تاثیر دمای بازپخت در نانو ساختار لایه‌های نازک اکسید مولیبدن حاصل کار پژوهشی خود بوده و چنانچه دستاوردهای پژوهشی دیگران را مورد استفاده قرار داده باشم. طبق ضوابط و رویه‌های جاری، آنرا ارجاع داده و در فهرست منابع و مآخذ ذکر نموده‌ام. علاوه بر آن تاکید می‌نمایم که این پایانه نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح، پایین یا بالاتر ارائه نشده و چنانچه در هر زمان خلاف آن ثابت شود، بدینوسیله متعهد می‌شوم، در صورت ابطال مدرک تحصیلی ام توسط دانشگاه، بدون کوچکترین اعتراض آنرا بپذیرم.

تاریخ و امضاء

بسمه تعالی

در تاریخ: ۱۳۹۱/۶/۲۶

دانشجوی کارشناسی ارشد خانم سمیرا ذوالقدر از پایان نامه خود دفاع نموده و با

نمره: ۱۹/۵۰ بحروف: نوزده و پنجاه صدم و با درجه: عالی

مورد تصویب قرار گرفت.

امضا استاد راهنما

بسمه تعالی

دانشکده علوم پایه

\*\*\*\*\*

(این چکیده به منظور چاپ در پژوهش نامه دانشگاه تهیه شده است)

نام واحد دانشگاهی: تهران مرکزی	کد واحد: ۱۰۱	کد شناسایی پایان نامه: ۹۰/۱۱/۴-
		۱۰۱۳۰۲۱۰۹۰۱۰۰۹

عنوان پایان نامه: بررسی تأثیر دمای بازپخت در نانو ساختار لایه‌های نازک اکسید مولیبدن

نام و نام خانوادگی دانشجو: سمیرا ذوالقدر	تاریخ شروع پایان نامه: ۹۰/۷/۱۳
شماره دانشجویی: ۸۸۱۰۶۸۹۱۱۰۰	تاریخ اتمام پایان نامه: ۹۱/۶/۶
رشته تحصیلی: فیزیک	

استاد/ استادان راهنما: دکتر کیخسرو خجیر

استاد/ استادان مشاور: دکتر ناصر زارع دهنوی

آدرس و شماره تلفن: شهرک غرب، خیابان سیمای ایران، ساختمان پیامبر اعظم

۰۲۱-۸۸۳۸۵۷۷۴

چکیده پایان نامه (شامل خلاصه، اعداد، روشهای اجرا و نتایج به دست آمده):

لایه های نازک مولیبدن با ضخامت ۵۰nm، با استفاده از سیستم کندوپاش مغناطیسی بر روی زیرلایه Si (۴۰۰) انباشت شدند و در دماهای مختلف (۷۰۰°C، ۵۷۵، ۴۵۰، ۳۲۵، ۲۰۰) در حضور شار ثابت اکسیژن (۲۰۰cc/min) بازپخت شدند. ساختار بلوری نمونه ها با پراش اشعه- X (XRD) تحلیل شد و از یک میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) برای بررسی ریخت شناسی سطح نمونه ها استفاده شد. مقاومت ویژه لایه های نازک اکسید مولیبدن نیز با استفاده از ابزار چهار میله نوک تیز (FPP) تحلیل شد. نتایج پراش پرتو- X (XRD) نشان داد ساختار بلوری لایه های نازک اکسید مولیبدن قویاً به دمای بازپخت وابسته است، همچنین نتایج نشان داد که افزایش دمای بازپخت سبب افزایش اندازه دانه ها، زمختی سطح نمونه ها می شود. همچنین نتایج بررسی الکتریکی نشان داد مقاومت ویژه نمونه ها با افزایش دمای بازپخت تا ۵۷۵ °C افزایش و سپس کاهش می یابد.

مناسب است  
مناسب نیست

نظر استاد راهنما برای چاپ در پژوهش نامه دانشگاه

تاریخ و امضا:

## فهرست مطالب

---

صفحه

عنوان

۱.....چکیده

### فصل اول: معرفی لایه های نازک

۲..... ۱-۱ مقدمه

۶..... ۲-۱ لایه یا پوشش چیست؟

۹..... ۳-۱ روش های تهیه لایه های نازک.

۱۱..... ۴-۱ روش های شیمیایی و الکتروشیمیایی.

۱۴..... ۵-۱ تبخیر در خلا.

### فصل دوم : مکانیزم تشکیل لایه های نازک

۲۲..... ۱-۲ مقدمه.

۲۵..... ۲-۲ عوامل موثر در ساختار لایه های نازک.

۲۸..... ۳-۲ روش کندوپاش در انباشت لایه.

۳۱..... ۴-۲ تخلیه های تابناک و پلاسما.

۳۵..... ۵-۲ مکانیزم کندوپاش.

۳۶..... ۶-۲ پارامترهای کندوپاش.

۳۷..... ۷-۲ انواع کندوپاش.

۴۲..... ۸-۲ خواص زیرلایه ها

۴۳..... ۹-۲ خواص فیزیکی لایه.

۴۳..... ۱۰-۲ آهنگ و غیریکنواختی لایه نشانی.

۴۴..... ۱۱-۲ زیرلایه ها و آماده سازی آن ها.

۴۷..... ۱۲-۲ پخت.



## فصل سوم: آنالیز نمونه ها

- ۱-۳ طبقه بندی روش های تعیین مشخصات مواد بر اساس نحوه عملکرد..... ۵۱
- ۲-۳ میکروسکوپ های الکترونی برای تصویربرداری مستقیم سطح لایه..... ۵۵
- ۳-۳ آزمایش بلورشناسی پراش پرتو X-(XRD)..... ۵۸
- ۴-۳ معرفی میکروسکوپ نیروی اتمی..... ۶۳
- ۵-۳ بررسی خواص الکتریکی..... ۶۹

## فصل چهارم: معرفی مولیدن و اکسید مولیدن و شرح و تحلیل آزمایش ها

- ۱-۴ معرفی مولیدن..... ۷۱
- ۲-۴ معرفی اکسیژن..... ۷۴
- ۳-۴ معرفی اکسید مولیدن..... ۷۷

## فصل پنجم: شرح آزمایش و نتیجه گیری

- ۱-۵ جزئیات آزمایش..... ۸۳
- ۲-۵ نتیجه گیری و تحلیل..... ۹۱
- ۳-۵ نتایج..... ۱۰۰
- ۴-۵ پیشنهادها..... ۱۰۰

## فهرست منابع و مآخذ

- ۱۰۱..... فارسی
- ۱۰۲..... انگلیسی
- ۱۰۴..... چکیده انگلیسی

## فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

- جدول ۳-۱. طبقه بندی روش های آنالیز بر مبنای خاصیت فیزیکی مورد اندازه گیری..... ۵۳
- جدول ۴-۱. خلاصه ای از خواص فیزیکی و شیمیایی مولیدن..... ۷۲
- جدول ۴-۲. خلاصه ای از خواص فیزیکی و شیمیایی اکسیژن..... ۷۶
- جدول ۵-۱. شرایط کندوپاش..... ۸۷
- جدول ۵-۲. پارامترهای اندازه گیری شده در فرایند لایه نشانی به وسیله دستگاه کندوپاش.. ۸۸
- جدول ۵-۳. مقادیر عددی پارامترهای زمختی..... ۹۳
- جدول ۵-۴. مقادیر عددی مقاومت ویژه اندازه گیری شده..... ۹۸

## فهرست نمودارها

صفحه

عنوان

نمودار ۵-۱. تغییر ولتاژ به عنوان تابعی از جریان نمونه منتخب،  $d=50\text{nm}$  دمای بازپخت  $99..200\text{ }^{\circ}\text{C}$

نمودار ۵-۲. تغییرات مقاومت ویژه لایه های نازک اکسید مولیبدن بر حسب دمای بازپخت.....۹۹

## فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

- شکل ۱-۱. تصویری از پوشش نانو کامپوزیت ..... ۹
- شکل ۱-۲. روش های تهیه لایه نازک ..... ۱۰
- شکل ۱-۳. وابستگی فشار بخار به دما برای مواد مختلف ..... ۱۴
- شکل ۱-۴. طرح سیستم تبخیر ..... ۱۶
- شکل ۱-۵. طرحی از سیستم تبخیر در خلا ..... ۱۸
- شکل ۱-۶. سیستم تبخیر در خلا برای تولید صنعتی لایه های نازک برای مصارف اپتیکی ..... ۲۰
- شکل ۱-۷. طرح واره ای از دستگاه خلا فرازاید ..... ۲۱
- شکل ۱-۸. سیستم تبخیر خلا فرازاید یا پمپ های جذبی، یونی و تبخیر تیتانیم ..... ۲۱
- شکل ۱-۲. مدل منطقه ای ساختاری ارائه شده توسط موچان و دیمچیشین ..... ۲۳
- شکل ۲-۲. مناطق چهارگانه ..... ۲۴
- شکل ۲-۳. میکروگراف های الکترونی باقری برای نمونه مس بر روی زیرلایه شیشه ..... ۲۶
- شکل ۲-۴. تصویری از فرایند لایه نشانی به روش کندوپاش دیودی ..... ۳۸
- شکل ۲-۵. طرح واره ای از سیستم لایه نشانی به روش کندوپاش مغناطیسی ..... ۳۹
- شکل ۲-۶. طرح واره ای از سیستم لایه نشانی به روش کندوپاش RF ..... ۴۱
- شکل ۲-۷. طرح واره ای از سیستم لایه نشانی به روش کندوپاش یونی ..... ۴۲
- شکل ۲-۸. نمایه سطح بعضی از زیر لایه ها ..... ۴۶
- شکل ۲-۹. تغییرات در ساختار میکروسکوپی ناشی از بازیابی در اثر بارپخت ..... ۴۹
- شکل ۳-۱. دسته بندی جزئی روش های آنالیز و شناسایی مواد ..... ۵۴
- شکل ۳-۲. طرحی از میکروسکوپ الکترونی روبشی ..... ۵۵

- شکل ۳-۳. ناحیه بر انگیخته شده از برخورد باریکه الکترونی ..... ۵۶
- شکل ۳-۴. سه نوع سیگنال در مد رسانایی SEM ..... ۵۷
- شکل ۳-۵. صفحات اتمی و بازتاب براگ ..... ۶۰
- شکل ۳-۶. پهنای پیک در نصف ارتفاع ..... ۶۱
- شکل ۳-۷. تصاویری از میکروسکوپ نیروی اتمی ..... ۶۴
- شکل ۳-۸. نیروی بین اتمی بر حسب فاصله در حالت استاتیکی ..... ۶۸
- شکل ۳-۹. روش های چهارگانه ای برای اندازه گیری مقاومت ویژه یک نیمه هادی ..... ۷۰
- شکل ۳-۱۰. تصویری از ابزار چهار میله نوک تیز (FPP) ..... ۷۰
- شکل ۴-۱. ساختار بلوری مولیبدن ..... ۷۱
- شکل ۴-۲. تصاویر مولیبدن در طبیعت ..... ۷۳
- شکل ۵-۱. آماده سازی زیرلایه ..... ۸۴
- شکل ۵-۲. دستگاه کندوپاش مغناطیسی ..... ۸۵
- شکل ۵-۳. تصویری از کوره بازپخت ..... ۸۶
- شکل ۵-۴. تصویری از دستگاه پراش اشعه - X ..... ۸۹
- شکل ۵-۵. الگوی پراش اشعه - X نمونه های انباشت و بازپخت شده در دماهای مختلف. ۹۲
- شکل ۵-۶. تصاویر سه بعدی لایه نازک اکسید مولیبدن در دماهای مختلف بازپخت ..... ۹۴
- شکل ۵-۷. تصاویر دو بعدی لایه نازک اکسید مولیبدن در دماهای مختلف بازپخت ..... ۹۵
- شکل ۵-۸. تصاویر SEM لایه های نازک اکسید مولیبدن در دماهای مختلف بازپخت ..... ۹۶

## چکیده

لایه های نازک مولیبدن با ضخامت  $50\text{ nm}$ ، با استفاده از سیستم کندوپاش مغناطیسی بر روی زیرلایه  $\text{Si (400)}$  انباشت شدند و در دماهای مختلف ( $200^\circ\text{C}$ ،  $325^\circ\text{C}$ ،  $450^\circ\text{C}$ ،  $575^\circ\text{C}$ ،  $700^\circ\text{C}$ ) در حضور شار ثابت اکسیژن ( $200\text{ cc/min}$ ) بازپخت شدند. ساختار بلوری نمونه ها با پراش اشعه- $X$  ( $\text{XRD}$ ) تحلیل شد و از یک میکروسکوپ نیروی اتمی ( $\text{AFM}$ ) برای بررسی ریخت شناسی سطح نمونه ها استفاده شد. مقاومت ویژه لایه های نازک اکسید مولیبدن نیز با استفاده از ابزار چهار میله نوک تیز ( $\text{FPP}$ ) تحلیل شد. نتایج پراش پرتو- $x$  ( $\text{XRD}$ ) نشان داد ساختار بلوری لایه های نازک اکسید مولیبدن قویاً به دمای بازپخت وابسته است، همچنین نتایج نشان داد که افزایش دمای بازپخت سبب افزایش اندازه دانه ها، زمختی سطح نمونه ها می شود. همچنین نتایج بررسی الکتریکی نشان داد مقاومت ویژه نمونه ها با افزایش دمای بازپخت تا  $575^\circ\text{C}$  افزایش و سپس کاهش می یابد.

## فصل اول

### معرفی لایه های نازک

#### ۱-۱ مقدمه

یکی از شاخه های مهم و مستقل علم که در سال های اخیر توسعه یافته، فیزیک لایه های نازک است. این شاخه از فیزیک با سیستم هایی سروکار دارد که فقط یک ویژگی مشترک دارند، یعنی آن هایی که یکی از ابعادشان بسیار کوچک است، در حالی که ممکن است سایر خواص چنین سیستم هایی و همچنین روش های بررسی آن ها، متفاوت باشند. معمولاً ما در جستجوی مشخصه فیزیکی اجسام سه بعدی هستیم و خواص مشخصه این اجسام را هم غالباً برای واحد حجم در نظر می گیریم، یعنی فرض می کنیم که این مشخصه ها به حجم جسم بستگی ندارند. این فرض مادام که ابعاد جسم «معمولی»، یعنی کم و بیش در حد ماکروسکوپی باشد پذیرفتنی است، اما به محض اینکه با کوچک شدن یکی از ابعاد، افزایش قابل ملاحظه ای در نسبت سطح به حجم پدید آید، دیگر معتبر نیست.

در صورت کاهش دو بعد دیگر، تغییرات بیشتری را می توان مشاهده کرد. به عنوان مثال ذره های بسیار کوچک پخش شده در یک ماتریس یا «لایه های» بسیار نازک مشتمل بر نواحی مجزا، بی هنجاری های قابل ملاحظه ای را در خواصشان بروز می دهند، (به عنوان مثال، ساختار ترازهای انرژی مجاز الکترون ها و ویژگی های وابسته به آن ها تغییر می کند).

در جسم کپه ای، بر یک ذره معین (اتم، الکترون) نیروهایی وارد می آیند. این نیروها در بلورها طبیعت تناوبی دارند. در مواد بی ریخت، که در آن ها حداکثر فقط یک نظم کوتاه برد وجود دارد، چنین تناوبی مشاهده نمی شود. اما در هر دو مورد ذره ها تحت تاثیر نیروهایی هستند که از همه

جهت ها وارد می آیند. ولی، وقتی ناحیه سطح را در نظر می گیریم، انفصالی در این نیروها به وجود می آید. نیروهایی که روی ذرات واقع در سطح وارد می آیند با نیروهایی که روی جسم کپه ای عمل می کنند، متفاوت اند و این اختلاف عمدتاً به خاطر عدم تقارن نیروهاست. بنابراین حالت های انرژی در سطح جسم ممکن است اساساً از حالت های انرژی داخلی متفاوت باشند و از این رو بحث ما درباره وجود حالت های سطح است. اما ویژگی های دیگر، مثلاً فاصله بین اتمی یا ساختار بلوری سطح، نیز از این عدم تقارن تاثیر می پذیرد.

اگر لایه بسیار نازکی از یک ماده را در نظر بگیریم، با حالتی مواجه هستیم که در آن دو سطح آن قدر به هم نزدیک اند که می توانند تاثیر بسزایی روی خواص فیزیکی داخلی و فرایندهای جسم بگذارند و بنابراین کاملاً از یک ماده کپه ای متفاوت اند. این کاهش فاصله بین سطوح و برهم کنش متقابل آن ها، می تواند به پدیده های کاملاً جدیدی منجر شود. علاوه براین، کاهش یک بعد ماده تا مرتبه چند لایه اتمی، یک سیستم با حالتی بین ماکروسیستم ها و سیستم های مولکولی پدید می آورد و به این ترتیب روشی جدید برای بررسی ماهیت میکروفیزیکی فرایندهای گوناگون در دسترس قرار می دهد. مطالب بالا از جمله دلایل توجه فیزیکدان ها به موضوع لایه های نازک و اختصاص شاخه کاملی از فیزیک به این موضوع و رشد شاخه های فناوری مربوط به آن اند. یک دلیل دیگر هم برای رشد سریع فناوری لایه های نازک این است که یک بعد لایه نازک است و تولید لایه های نازک با نقش های پیچیده و جزئیات (خط ها) در ابعاد میکرومتری یا حتی زیرمیکرومتر (کمتر از میکرومتر) نسبتاً آسان است. این وضعیت، لایه های نازک را به خصوص برای کاربرد در میکروالکترونیک و اپتیک یکپارچه مناسب می سازد. هر چند، برای این منظور، بر خلاف آنچه گفته شد معمولاً لازم است که ویژگی های فیزیکی لایه ها (مثلاً مقاومت ویژه الکتریکی) نسبت به خواص ماده کپه ای تفاوت اساسی نداشته باشد.

مدتی است که موضوع لایه های سطحی نازک روی مواد مختلف، به ویژه فلزها، اعم از طبیعی (مثلاً اکسیدها یا ترکیب های مشتق از ماده زیر لایه) و مصنوعی یا انباشت شده حوزه پژوهش محققانی است که به مسائل خوردگی و حفاظت ماده علاقه مندند.



از ابتدای این قرن ویژگی های الکتریکی لایه های نازک، از اندازه گیری رسانایی گرفته تا مطالعه ابررسانایی و همچنین گسیل الکترون از آن ها، مورد بررسی قرار گرفته است و این پژوهش ها در سال های اخیر پیشرفت فوق العاده سریعی کرده است.

پیشرفت سریع الکترونیک در طول جنگ جهانی دوم و سال های پس از آن، موجب کوچک شدن مقیاس دستگاه های الکترونیکی شده است. این روند با کاوش های فضایی و نیاز آن ها به دستگاه های رادیوالکترونیک پیچیده، قابل اعتماد، کوچک و کم وزن اوج گرفت. اخیراً هم، پیشرفت قابل ملاحظه ای در شاخه الکترونیک پزشکی به وجود آمده است. این شاخه از الکترونیک به دستگاه هایی نیاز دارد که بتوان آن ها را در سطح بدن جانور یا انسان کار گذاشت یا در صورت لزوم برای اندازه گیری یا تحریک و کنترل فرایندهای حیاتی مختلف به نحوی در داخل بدن کاشت.

پیشرفت کامپیوترها نیز انگیزه دیگری در پیشبرد دستگاه های الکترونیکی، که ضمن پیچیده تر شدن باید از قابلیت اعتماد و کوچکترین ابعاد ممکنه نیز برخوردار باشند ایجاد کرده است. ریزه ساخت کردن قطعات الکترونیکی کلاسیک ( لامپ ها، مقاومت ها و خازن ها) به دنبال استفاده از قطعات نیمرسانا، مثلاً دیودها، ترانزیستورها و غیره، روی مدار سیم کشی چاپی انجام گرفت. قدم بعدی برای میکروریزه ساخت کردن، ابداع میکرومدول ها که، ورقه های کوچک سرامیکی ( مثلاً  $20 \times 20 \text{ nm}$ ) که اجزای نافعال از پیش روی آن ها تعبیه شده اند بود. این اجزا بیشتر به صورت لایه های نازک ( مقاومت ها و خازن ها) هستند و با استفاده از این ورقه های سرامیکی می توان دستگاه های بسیار کوچکی برای مقاصد عملی ساخت.

مهارت در فناوری تولید قطعات نیمرسانای فعال، یعنی ترانزیستورهای ساخته شده از تک بلورهای ژرمانیم و به ویژه سیلیسیم، به تولید مدارهای یکپارچه انجامیده است. این مدارها به دو روش تولید می شوند. در روش اول، قطعات مجزا توسط یک فناوری نیم رسانایی مشترک ساخته می شوند و بعد آن ها را با لایه های فلزی نازکی که به یکی از روش های تبخیری یا کندوپاشی<sup>۱</sup> انباشته می شوند به یکدیگر متصل می کنند. در روش دوم، همه اجزا در بلور ساخته می شود و اتصال آن ها

---

<sup>۱</sup> Sputtering

از طریق ماده بلور که رسانایی تغییر یافته مناسبی دارد برقرار می شود. در سطح بلور نیز پیوند فلزی تبخیری و اتصال ها وجود دارند.

مدارهای یکپارچه که به این روش تهیه می شوند می توانند کم و بیش پیچیده باشند. از یک تقویت کننده ساده گرفته تا سیستم های منطقی خیلی پیچیده، ریز پردازنده ها، حافظه ها و غیره. کاربرد لایه های نازک، امکانات جدیدی را برای میکروریزه ساختن اتصال قطعات منفرد و نیز تهیه خود اجزا اعم از فعال و نفعال، فراهم آورده است. این امر از آنجا ناشی می شود که یکی از ابعاد (از دیدگاه ماکروسکوپی) تقریباً صفر است و ضخامت عنصر تنها با ضخامت زیر لایه که فرایند انباشت روی آن انجام می گیرد، تعیین می شود. مزیت قابل توجه چنین سیستمی هم این است که کل سیستم را می توان بر اساس یک فناوری با ثبات لایه نازک تهیه کرد.

پیشرفت سریع فناوری لایه های نازک، به ویژه پیشرفت روشانی در خلا، یعنی تبخیر و روش هایی که از یون ها استفاده می کنند و نیاز به پایداری و قابلیت باز تولید در کاربردهای الکترونیک، انگیزه های پیشرفت پژوهش بنیادی در فیزیک لایه های نازک بوده اند. به این امر پی برده ایم که چنانچه معلومات ما از قانون های بنیادی تشکیل لایه نازک کافی نباشد و اگر رابطه بین پارامترهای فیزیکی مختلف فرایندهای وارد در تولید لایه نازک و پارامترهای مکانیکی، الکتریکی و سایر پارامترها درک نشوند، تقاضاهای صنعت را نمی توان با اعتماد پاسخ داد.

## ۱-۲ لایه یا پوشش چیست ؟

لایه یا پوشش به ماده یا موادی گفته می شود که به صورت پوششی بر یک سطح یا ماده دیگر، سبب ایجاد خواص الکترونیک، فیزیکی و مکانیکی جدید می شوند که نه خصوصیات ماده تشکیل دهنده را داشته باشد و نه خصوصیات سطحی که لایه بر روی آن انباشت شده است.

### ۱-۲-۱ انواع پوشش های نانو ساختار

گروه های مهم پوشش های نانو ساختار به صورت های زیر می باشند:

الف) پوشش های دانه ای<sup>۱</sup>

ب) پوشش های شبکه ای و چند لایه ای<sup>۲</sup>

پ) پوشش های لایه نازک<sup>۳</sup>

ت) پوشش های نانوکامپوزیتی<sup>۴</sup>

این پوشش ها به دلیل رفتار سایشی عالی، مقاومت مطلوب در برابر خوردگی و خواص اپتیکی، الکتریکی و الکترونیکی مناسب، در صنایع هوا فضا، خودروسازی، مهندسی پزشکی و بسته بندی مورد استفاده قرار می گیرند.

### ۱-۲-۲ پوشش نانو ساختاری دانه ای

برای تولید پوشش دانه ای نانو ذراتی استفاده می شود که ابعاد کمتر از ۵۰ nm داشته باشند. نانو ذرات از مهمترین ساختارهایی هستند که به عنوان پوشش روی سطح قطعات رسوب داده می شوند، نانو ذراتی مانند دی اکسید تیتانیوم اکسید مس، اکسید روی و آلومینا از این دسته اند. که البته 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 سبک تر و دارای طول عمر بیشتری باشند هم چنین می توان از نانو ذرات آلومینو سیلیکات به عنوان ماده دیگری در پوشش دهی استفاده کرد، این ذرات کروی شکل بوده و بدون رنگ هستند و سطح آن ها عاری از گروه های هیدروکسیل می باشند، مهم تر اینکه با یکدیگر

<sup>۱</sup>Nano Grane

<sup>۲</sup>Super Lattic

<sup>۳</sup>Thin Film

<sup>۴</sup>Nanocomposite

کلوخه نمی شوند و سطح پوشش داده شده با این مواد دارای مقاومت بالا در برابر ورقه شدن و خرد شدن می باشند. 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 پوشش های اداوات نظامی قابل استفاده از پوشش های سرامیکی در اداوات دریایی، هزینه ها و صدمات ناشی از خوردگی را به شدت کاهش می دهد .

### ۱-۲-۳ پوشش های شبکه ایی و چند لایه ای

این پوشش ها از هزاران لایه و هر لایه با ضخامتی در حدود ۵-۱ nm ساخته می شوند. هر لایه ساختار بلوری خاصی دارد و از عناصر مختلفی نظیر نیکل، تیتانیوم و انادیوم و آلومینیوم ساخته می شود و با استفاده از کاشت یون و تحت یک محیط خلا عناصر فوق روی قطعات تشکیل شده است. این پوشش ها بسیار متراکم هستند و چگالی بالایی دارند و به عنوان پوشش های چند لایه با چگالی بالا نیز شناخته می شوند. استفاده از این نوع پوشش ها روی قطعات صنعتی باعث بهبود خواص فیزیکی و شیمیایی آن ها و همچنین دوام قطعات شده است. پوشش های شبکه ای به غیر از کاشت یون، به وسیله روش های دیگر نظیر کند و پاش مغناطیسی نیز بر روی قطعات رسوب داده می شوند. چون در روش CVD امکان ایجاد نفوذ بین لایه ها وجود دارد از این روش استفاده نمی شود.

### ۱-۲-۴ پوشش لایه نازک

پوشش های لایه نازک از لایه های متناوب با فازهای مختلف تشکیل شده اند. این لایه ها سختی و مدول الاستیک بالا و خواص سایشی خوبی دارند. خواص لایه های نازک (تحت تاثیر ساختار آن) با حالت کپه ای، فرق می کند زیرا در یک ماده کپه ای، هر یک از ذرات، از جهات مختلف تحت تاثیر نیروهایی هستند، در حالی که در لایه های نازک، تقارن در نیروهای وارده به هر ذره، وجود ندارد. لذا همین مسئله سبب می شود تا ساختمان بلوری و حالت های انرژی در لایه های نازک متفاوت با فرم کپه ای باشد. خواص ویژه لایه های نازک موجب شده است که در سال های اخیر تکنولوژی لایه های نازک مورد توجه ویژه قرار گیرد. با بکارگیری این گونه مواد، کاربردهای متنوع و متعددی نظیر پوشش های جاذب اشعه ماوراء بنفش، پوشش های ضد خوردگی، ضد انعکاس نور،