

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده‌ی علوم پایه  
گروه آموزشی شیمی کاربردی

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد  
در رشته‌ی شیمی گرایش شیمی تجزیه

### **عنوان:**

**ساخت، مشخصه‌یابی و بررسی رفتار الکتروشیمیایی الکترودهای نانوفیلم نقره**

**اساتید راهنما:**

دکتر ماندانا امیری  
دکتر یاشار عزیزیان کلاندرق

**استاد مشاور:**

دکتر حبیب‌الله اسکندری

**پژوهشگر:**

سیما نوحی

زمستان ۱۳۹۲

## تعهدنامه‌ی اصالت اثر و رعایت حقوق دانشگاه

تمامی حقوق مادّی و معنوی مترتب بر نتایج، ابتکارات، اختراعات و نوآوری‌های ناشی از انجام این پژوهش، متعلق به **دانشگاه محقق اردبیلی** می‌باشد. نقل مطلب از این اثر، با رعایت مقررات مربوطه و با ذکر نام دانشگاه محقق اردبیلی، نام استاد راهنما و دانشجو بلامانع است.

اینجانب سیما نوحی دانش‌آموخته‌ی مقطع کارشناسی ارشد رشته‌ی شیمی گرایش تجزیه دانشکده‌ی علوم پایه دانشگاه محقق اردبیلی به شماره‌ی دانشجویی ۹۰۲۲۳۳۳۱۱۲ که در تاریخ از پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود تحت عنوان ساخت، مشخصه‌یابی و بررسی رفتار الکتروشیمیایی الکترودهای نانو- فیلم نقره دفاع نموده‌ام، متعهد می‌شوم که:

- این پایان‌نامه را قبلاً برای دریافت هیچ‌گونه مدرک تحصیلی یا به عنوان هرگونه فعالیت پژوهشی در سایر دانشگاه‌ها و مؤسسات آموزشی و پژوهشی داخل و خارج از کشور ارائه ننموده‌ام.
- مسئولیت صحت و سقم تمامی مندرجات پایان‌نامه‌ی تحصیلی خود را بر عهده می‌گیرم.
- این پایان‌نامه، حاصل پژوهش انجام شده توسط اینجانب می‌باشد.
- در مواردی که از دستاوردهای علمی و پژوهشی دیگران استفاده نموده‌ام، مطابق ضوابط و مقررات مربوطه و با رعایت اصل امانتداری علمی، نام منبع مورد استفاده و سایر مشخصات آن را در متن و فهرست منابع و مأخذ ذکر نموده‌ام.
- چنانچه بعد از فراغت از تحصیل، قصد استفاده یا هرگونه بهره‌برداری اعم از نشر کتاب، ثبت اختراع و ... از این پایان‌نامه را داشته باشم، از حوزه‌ی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی، مجوزهای لازم را اخذ نمایم.
- در صورت ارائه‌ی مقاله‌ی مستخرج از این پایان‌نامه در همایش‌ها، کنفرانس‌ها، سمینارها، گردهمایی‌ها و انواع مجلات، نام دانشگاه محقق اردبیلی را در کنار نام نویسندگان (دانشجو و اساتید راهنما و مشاور) ذکر نمایم.
- چنانچه در هر مقطع زمانی، خلاف موارد فوق ثابت شود، عواقب ناشی از آن (منجمله ابطال مدرک تحصیلی، طرح شکایت توسط دانشگاه و ...) را می‌پذیرم و دانشگاه محقق اردبیلی را مجاز می‌دانم با اینجانب مطابق ضوابط و مقررات مربوطه رفتار نماید.

نام و نام خانوادگی دانشجو: سیما نوحی

امضا

تاریخ



دانشکده‌ی علوم پایه  
گروه آموزشی شیمی کاربردی

پایان‌نامه برای دریافت درجه‌ی کارشناسی ارشد  
در رشته‌ی شیمی گرایش شیمی تجزیه

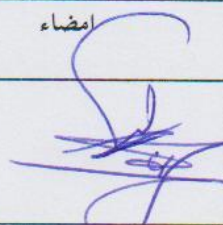
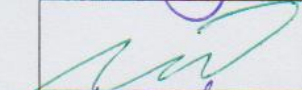
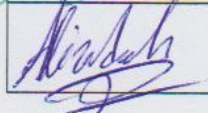
**عنوان:**

**ساخت، مشخصه‌یابی و بررسی رفتار الکتروشیمیایی الکترودهای نانوفیلم نقره**

پژوهشگر:

سیما نوحی

ارزیابی و تصویب شده‌ی کمیته‌ی داوران پایان‌نامه با درجه‌ی .....  
علی

امضاء	سمت	مرتب‌ی علمی	نام و نام خانوادگی
	استاد راهنما و رئیس کمیته‌ی داوران	استادیار استادیار	ماندانا امیری یاشار عزیزیان کلاندرق
	استاد مشاور	دانشیار	حبیب‌الله اسکندری
	داور	دانشیار	طاهر علیزاده

دی ۱۳۹۲

## ساکزاری

سکربی کران به درگاه ایزدیکتا که توفیق و توان را رفیق را هم ساخت تا این مهم را به سر منزل مقصود رسانم.

پاس من نثار

پدرم، به خاطر تمام زحماتش

مادرم، نازنین و جودی سرشار از عشق، عفت و صبر، هستی ام

استادشایسته و فریخته ام، سرکار خانم دکتر ماندانا امیری، کسی که به وقع الگوی زندگی ام قرار گرفت و شاگردی در محضر ایشان و بهره مند شدن از تجربیات و علم سرشارشان، یکی از بزرگترین اقبالها و افتخارات زندگی ام بود.

استاد کرامت و بزرگوام، جناب آقای دکتر یاشار عزیزیان، انسانی شریف و متواضع، که آشنایی با ایشان و بهره مندی از تجربیاتشان و آموختن در محضر ایشان، راهی مسرت و افتخار خود می دانم.

استاد کرامت و گرامی ام، جناب آقای دکتر حبیب الله اسکندری که همواره با حسن خلق و روی گشاده، مرا مورد لطف خود قرار داده و بیچگاه کمکها و راهنماییهای خود را از من دریغ نداشتند.

همچنین، استاد محترم، جناب آقای دکتر طاهر علینزاده که در طی سالهای متمادی، دانش آموخته سی کلاس درس ایشان بوده ام و زحمت بازخوانی و داوری این پایان نامه را بر عهده گرفتند.

سپاس

دی ماه یک هزار و سیصد و نود و دو

نام خانوادگی دانشجو: نوحی	نام: سیما
عنوان پایان نامه: ساخت، مشخصه‌یابی و بررسی رفتار الکتروشیمیایی الکترودهای نانوفیلم نقره.	
استاد (اساتید) راهنما: دکتر ماندانا امیری و دکتر یاشار عزیزیان کلاندرق استاد (اساتید) مشاور: دکتر حبیب‌الله اسکندری	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: شیمی
گرایش: شیمی تجزیه	دانشگاه: محقق اردبیلی
دانشکده: علوم پایه	تاریخ دفاع: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴
	تعداد صفحات: ۱۰۸
<p><b>چکیده:</b></p> <p>امروزه بسیاری از قطعات مدرن و پیچیده نوری، الکتریکی و الکترونیکی به صورت لایه نازک ساخته می‌شوند. در بین لایه‌های نازک رسانا، لایه‌های نازک نقره به علت قیمت مناسب، رسانایی بسیار زیاد و انعکاس نور بالا، یکی از پرکاربردترین نوع لایه‌ها هستند. در این تحقیق، لایه‌های نازک نقره بر روی زیرلایه اکسید ایندیم-قلع با روش تبخیر فیزیکی بمباران پرتو الکترونی و روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی تهیه شدند. در روش تبخیر فیزیکی، می‌توان با تغییر دادن مدت زمان اعمال ولتاژ به دستگاه لایه‌نشانی، لایه‌هایی با ضخامت متفاوت تهیه کرد. برای مشخصه‌یابی لایه‌های نازک نقره با ضخامت‌های مختلف از روش‌هایی همچون اسپکتروفتومتری فرابنفش-مرئی (UV-Vis)، اسپکتروسکوپی بازتابش نفوذی (DRS)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شده است. همچنین جهت مطالعه اثر حرارت بر روی لایه‌های نازک نقره، این لایه‌ها در چهار دمای مختلف ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ درجه سلسیوس به مدت یک ساعت پخت شدند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی، نشان‌دهنده تغییر در ترکیب و تراکم نانوذرات نقره موجود بر روی سطح لایه‌ها در اثر افزایش درجه حرارت است. اندازه‌گیری‌های زاویه تماس نیز برای مطالعه ساختار سطح لایه‌های نازک به کار برده شد که اندازه‌گیری‌ها نشان‌دهنده کاهش زاویه تماس و افزایش میزان آب‌دوستی لایه‌های نازک نقره در اثر افزایش درجه حرارت است. طیف‌های حاصل از (DRS) نیز نشان‌دهنده تغییر رفتار اپتیکی لایه‌های نازک نقره است. در روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی مورد استفاده نیز، با تغییر دادن میزان پتانسیل اعمال شده و همچنین مدت زمان اعمال آن، نانو ساختارهای متفاوتی از نقره تهیه شدند که تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، به‌وضوح نشان‌دهنده این تفاوت‌های ساختاری هستند. مطالعات الکتروشیمیایی بر روی لایه‌های نازک نقره با استفاده از روش-های اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS) و ولتامتری چرخه‌ای صورت گرفت. نتایج حاصل، نشان‌دهنده اهمیت میزان ضخامت لایه‌های نازک نقره تهیه شده با روش تبخیر فیزیکی، اهمیت میزان پتانسیل اعمال شده و مدت زمان آن برای نانو ساختارهای نقره‌ی تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی و همچنین تاثیر نوع الکتrolیت حامل در نوع پاسخ‌های به‌دست‌آمده برای هر دو نوع نانو ساختار نقره به‌دست‌آمده است. در نهایت، قابلیت لایه‌های نازک نقره تهیه شده با هر دو روش، به عنوان حسگر برای ترکیب هیدروژن پراکسید مطالعه شد و نتایج حاکی از این است که لایه نازک نقره به عنوان یک الکتروکاتالیست در واکنش کاهش الکتروشیمیایی هیدروژن پراکسید در محلول بافر فسفات عمل می‌کند.</p>	
<p><b>کلید واژه‌ها:</b> لایه نازک نقره، تبخیر پرتو الکترونی، رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی، الکتروشیمی، زاویه تماس.</p>	

فصل اول : مقدمه

۱- مقدمه.....	۲
۱-۱- نانو فناوری.....	۲
۱-۱-۱- پیشینه‌ی نانو فناوری.....	۲
۱-۲- خواص نانوذرات.....	۳
۱-۳- انواع نانو ساختارها.....	۴
۱-۳-۱- تهیه نانو ساختارها.....	۵
۱-۴- نانوذرات فلزی.....	۵
۱-۵- نانوذرات نقره.....	۶
۱-۵-۱- تشدید پلاسمون سطح (SPR).....	۷
۱-۵-۲- تهیه نانوذرات نقره.....	۸
۱-۵-۳- نانو ساختارهای نقره.....	۹
۱-۵-۴- لایه نازک نقره.....	۹
۱-۶- لایه نازک.....	۱۰
۱-۶-۱- پیشینه‌ی لایه‌های نازک.....	۱۰
۱-۶-۲- انواع لایه‌های نازک.....	۱۱
۱-۶-۳- تهیه لایه‌های نازک.....	۱۲
۱-۶-۳-۱- انباشت بخار فیزیکی.....	۱۳
۱-۶-۳-۲- انباشت بخار شیمیایی.....	۱۳
۱-۶-۴- انباشت به وسیله بمباران پرتو الکترونی.....	۱۵
۱-۶-۵- رسوب گذاری الکتروشیمیایی.....	۱۶
۱-۶-۶- زیر لایه.....	۱۸
۱-۶-۶-۱- اکسید ایندیم آلائیده با قلع.....	۱۸
۱-۷- فرایند پخت.....	۱۹
۱-۸- ترشوندگی.....	۱۹
۱-۸-۱- زاویه تماس.....	۲۱
۱-۹- حسگرهای الکتروشیمیایی.....	۲۲

- ۱-۹-۱- الکترودهای نقره..... ۲۳
- ۱-۱۰-۱- هیدروژن پراکسید..... ۲۴

### فصل دوم: پیشینه‌ی تحقیق

- ۲-۲- مروری بر تحقیقات گذشته..... ۲۶
- ۱-۲-۱- مروری بر تحقیقات انجام شده در تهیه لایه‌های نازک نقره و مطالعات صورت‌گرفته بر روی آن‌ها..... ۲۶
- ۲-۲-۲- مروری بر تحقیقات انجام شده در مطالعه زاویه تماس و خواص اپتیکی لایه‌های نازک نقره..... ۲۸
- ۳-۲-۳- مروری بر تحقیقات انجام شده در بررسی تاثیر فرایند پخت بر روی ویژگی‌های لایه‌های نازک نقره..... ۳۰
- ۴-۲-۴- مروری بر تحقیقات انجام شده در استفاده از الکترودهای نقره در اندازه‌گیری‌های الکتروشیمیایی..... ۳۲
- ۵-۲-۵- اندازه‌گیری هیدروژن پراکسید با استفاده از حسگرهای حاوی نانوساختارهای نقره..... ۳۶

### فصل سوم: بخش تجربی

- ۳-۳- بخش تجربی..... ۴۰
- ۱-۳-۱- دستگاه‌ها و مواد شیمیایی استفاده شده..... ۴۰
- ۱-۳-۱-۱- وسایل و دستگاه‌های مورد استفاده..... ۴۰
- ۲-۳-۱-۲- مواد شیمیایی مورد استفاده..... ۴۱
- ۲-۳-۲- روش‌های به‌کار برده شده..... ۴۲
- ۱-۳-۲-۱- ساخت لایه‌های نازک نقره با روش تبخیر فیزیکی بمباران پرتو الکترونی..... ۴۲
- ۲-۳-۲-۲- ساخت نانوساختارهای نقره با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی..... ۴۳
- ۳-۳-۲-۳- مطالعات الکتروشیمیایی لایه‌های نازک نقره..... ۴۴
- ۴-۳-۲-۳- اندازه‌گیری زاویه تماس..... ۴۵

### فصل چهارم: بحث و نتیجه‌گیری

- ۴-۴- نتایج و بحث..... ۴۷
- بخش اول..... ۴۸
- ۱-۴-۱- لایه‌های نازک نقره‌ی تهیه شده با روش تبخیر فیزیکی بمباران پرتو الکترونی..... ۴۸
- ۱-۴-۱-۱- مشخصه‌یابی لایه‌های نازک نقره‌ی تهیه شده با روش تبخیر فیزیکی بمباران پرتو الکترونی..... ۴۸
- ۱-۴-۱-۱-۱- اسپکتروفتومتری فرابنفش-مرئی (UV-Vis)..... ۴۸
- ۲-۴-۱-۱-۲- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)..... ۵۰
- ۳-۴-۱-۱-۳- اسپکتروسکوپی بازتابش نفوذی (DRS)..... ۵۲



- ۴-۱-۲- مطالعه تأثیر فرایند پخت بر روی لایه‌های نازک نقره..... ۵۳
- ۴-۱-۲-۱- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)..... ۵۴
- ۴-۲-۱-۲- اسپکتروسکوپی بازتابش نفوذی (DRS)..... ۵۶
- ۴-۲-۱-۳- زاویه تماس..... ۵۸
- ۴-۲-۱-۴- پراش پرتو ایکس (XRD)..... ۶۰
- ۴-۱-۳- مطالعات الکتروشیمی لایه‌های نازک نقره تهیه شده به روش تبخیر پرتو الکترونی..... ۶۱
- ۴-۱-۳-۱- اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS)..... ۶۱
- ۴-۱-۳-۲- ولتامتری چرخه‌ای..... ۶۳
- ۴-۱-۳-۲- الف- رفتار الکتروشیمیایی لایه‌های نازک نقره..... ۶۴
- ۴-۱-۳-۲- ب- اثر ضخامت لایه‌های نازک نقره..... ۶۵
- ۴-۱-۳-۲- ج- اثر الکترولیت حامل..... ۶۷
- ۴-۱-۴- قابلیت لایه نازک نقره تهیه شده به عنوان حسگر..... ۷۱
- بخش دوم ..... ۷۵
- ۴-۲- نانوساختارهای نقره‌ی تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی..... ۷۵
- ۴-۲-۱- مشخصه‌یابی نانوساختارهای نقره‌ی تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی..... ۷۵
- ۴-۱-۲-۱- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)..... ۷۵
- ۴-۱-۲-۲- اسپکتروفوتومتری فرابنفش-مرئی (UV-Vis)..... ۷۹
- ۴-۲-۲- مطالعات الکتروشیمیایی نانوساختارهای نقره تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی..... ۸۰
- ۴-۱-۲-۲-۱- اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی (EIS)..... ۸۰
- ۴-۲-۲-۲- مطالعات ولتامتری چرخه‌ای نانوساختارهای نقره بر روی زیرلایه ITO..... ۸۳
- ۴-۲-۲-۲- الف- اثر مدت زمان رسوب‌گذاری..... ۸۳
- ۴-۲-۲-۲- ب- اثر پتانسیل رسوب‌گذاری..... ۸۴
- ۴-۲-۲-۲- ج- اثر الکترولیت حامل..... ۸۶
- ۴-۲-۳- قابلیت حسگری نانوساختارهای نقره برای هیدروژن پراکسید..... ۸۹
- ۴-۲-۳-۱- اثر غلظت هیدروژن پراکسید..... ۹۰
- ۴-۲-۳-۲- اثر سرعت روبش..... ۹۳
- ۴-۳- مقایسه لایه‌های نازک نقره‌ی تهیه شده با دو روش فیزیکی و الکتروشیمیایی..... ۹۵
- ۴-۴- نتیجه‌گیری کلی..... ۹۶
- ۴-۵- پیشنهادات..... ۹۶

## فهرست جداول

شماره و عنوان	صفحه
جدول (۱-۱): مقایسه‌ی روش‌های لایه‌نشانی.....	۱۴.....
جدول (۱-۴): مقادیر زوایای تماس.....	۵۹.....

## فهرست اشکال

شماره و عنوان	صفحه
شکل (۱-۱): پدیده تشدید پلاسمون سطح برای نانوذره کروی.....	۷.....
شکل (۲-۱): لایه‌نشانی به طریق بمباران الکترونی.....	۱۵.....
شکل (۳-۱): لایه‌نشانی به طریق رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی.....	۱۷.....
شکل (۴-۱): سطوح آب‌دوست و آب‌گریز.....	۲۰.....
شکل (۵-۱): شیشه‌های خودپاک‌شونده.....	۲۱.....
شکل (۶-۱): نحوه اندازه‌گیری زاویه تماس.....	۲۲.....
شکل (۱-۳): لایه‌های نازک نقره تهیه شده با روش تبخیر فیزیکی بمباران پرتو الکترونی. (a)، لایه نازک نقره نازک‌تر با مدت زمان لایه‌نشانی ۵ ثانیه. (b)، لایه نازک نقره ضخیم‌تر با مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ ثانیه.....	۳۳.....
شکل (۲-۳): لایه نازک نقره تهیه شده با روش تبخیر فیزیکی بمباران پرتو الکترونی به همراه رابط مسی قرار گرفته بر روی آن.....	۳۴.....
شکل (۳-۳): لایه نازک نقره استفاده شده به عنوان الکتروود کار در اندازه‌گیری‌های ولتامتری چرخه‌ای، قرار گرفته در داخل سل مربوط به دستگاه ولتامتری.....	۳۵.....
شکل (۴-۳): چیدمان عکسبرداری از زاویه تماس بر روی لایه نازک نقره.....	۳۵.....
شکل (۱-۴): طیف اسپکتروفتومتری فرابنفش-مرئی لایه‌های نازک نقره با چهار ضخامت مختلف تهیه شده به روش بمباران پرتو الکترونی در چهار زمان مختلف لایه‌نشانی (a) نازک‌ترین لایه (مدت زمان لایه‌نشانی ۵ ثانیه) (b و c) لایه‌های نازک نقره با ضخامت میانه (مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ و ۷۰ ثانیه) (d) ضخیم‌ترین لایه (مدت زمان لایه‌نشانی ۹۰ ثانیه).....	۵۰.....
شکل (۲-۴): تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی سطح مقطع لایه‌های نازک نقره با ضخامت‌های مختلف و مدت زمان‌های لایه‌نشانی متفاوت (a) مربوط به لایه با ضخامت کمتر و مدت زمان لایه‌نشانی ۵ ثانیه و (b) مربوط به لایه با ضخامت بیشتر و مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ ثانیه.....	۵۱.....

- شکل (۳-۴): تصویر میکروسکوپ الکترونی لایه‌های نازک نقره با ضخامت‌های مختلف و مدت زمان‌های لایه‌نشانی متفاوت (a) مربوط به لایه با ضخامت کمتر و مدت زمان لایه‌نشانی ۵ ثانیه (b) مربوط به لایه با ضخامت بیشتر و مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ ثانیه..... ۵۲
- شکل (۴-۴): طیف اسپکتروسکوپی بازتابش نفوذی برای سه لایه نازک نقره با ضخامت‌های مختلف (a) لایه نازک نقره با کمترین ضخامت (مدت زمان لایه‌نشانی ۵ ثانیه) (b) لایه نازک نقره با ضخامت میانه (مدت زمان لایه‌نشانی ۱۰ ثانیه) (c) لایه نازک نقره با بیشترین ضخامت (مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ ثانیه)..... ۵۳
- شکل (۵-۴): (a) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به لایه نازک نقره تهیه شده با ضخامت کم بدون پخت..... ۵۴
- شکل (۶-۴): (a) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی مربوط به لایه نازک نقره تهیه شده با ضخامت بیشتر بدون پخت (b) پخت شده در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت (c)  $200^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت (d)  $300^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت (e)  $400^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت..... ۵۵
- شکل (۷-۴): طیف اسپکتروسکوپی بازتابش نفوذی برای لایه نازک تر نقره با مدت زمان لایه‌نشانی ۵ ثانیه، قبل از پخت و بعد از پخت در چهار دمای متفاوت به همراه طیف زیرلایه مورد استفاده (ITO)..... ۵۶
- شکل (۸-۴): طیف اسپکتروسکوپی بازتابش نفوذی برای لایه ضخیم تر نقره با مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ ثانیه، قبل از پخت و بعد از پخت در چهار دمای متفاوت به همراه طیف زیرلایه مورد استفاده (ITO)..... ۵۷
- شکل (۹-۴ الف): (a) تصاویر زاویه تماس مربوط به لایه نازک نقره تهیه شده با ضخامت کم بدون پخت (b) پخت شده در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت (c)  $200^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت (d)  $300^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت (e)  $400^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت..... ۵۸
- شکل (۹-۴ ب): (a) تصاویر زاویه تماس مربوط به لایه نازک نقره تهیه شده با ضخامت بیشتر بدون پخت (b) پخت شده در دمای  $100^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت (c)  $200^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت (d)  $300^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت (e)  $400^{\circ}\text{C}$  به مدت ۱ ساعت..... ۵۹
- شکل (۱۰-۴): طیف پراش پرتو ایکس برای لایه نازک نقره تهیه شده با مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ ثانیه (a) لایه نازک نقره پخت نشده (b) لایه نازک نقره پخت شده در دمای  $400^{\circ}\text{C}$  به مدت یک ساعت..... ۶۰
- شکل (۱۱-۴): نمونه‌ای از یک نمودار نایکوئیست و مدار معادل آن..... ۶۲
- شکل (۱۲-۴): نمودار نایکوئیست اسپکتروسکوپی امیدانس الکتروشیمیایی زیر لایه اکسید ایندیم-قلع به همراه لایه‌های نازک نقره با ضخامت‌های مختلف (a) زیرلایه ITO (b) لایه نازک نقره با ضخامت کمتر (مدت زمان لایه‌نشانی ۵ ثانیه) (b) لایه نازک نقره با ضخامت بیشتر (مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ ثانیه) در محلول  $5\text{ mM K}_3\text{Fe(CN)}_6/\text{K}_4\text{Fe(CN)}_6$  به عنوان پروب ردوکس، حاوی  $0.1\text{ M KNO}_3$  مولار، پتانسیل  $0.2\text{ V}$  و فرکانس  $10^{-1} - 10^4\text{ Hz}$ ..... ۶۳
- شکل (۱۳-۴): ولتاموگرام چرخه‌ای لایه نازک نقره در داخل محلول  $0.1\text{ M KNO}_3$  مولار با سرعت روبش  $0.1\text{ V/s}$  و ولت بر ثانیه با ۵ روبش متوالی..... ۶۴
- شکل (۱۴-۴): ولتاموگرام چرخه‌ای لایه نازک نقره (با مدت زمان لایه‌نشانی ۵ ثانیه) و ضخامت کمتر در داخل محلول بافر فسفات  $0.1\text{ M}$  (pH=۳) با سرعت روبش  $0.05\text{ V/s}$  و ولت بر ثانیه..... ۶۶
- شکل (۱۵-۴): ولتاموگرام چرخه‌ای لایه نازک نقره (با مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ ثانیه) و ضخامت بیشتر در داخل محلول بافر فسفات  $0.1\text{ M}$  (pH=۳) با سرعت روبش  $0.05\text{ V/s}$  و ولت بر ثانیه..... ۶۶

- شکل (۴-۱۶): ولتاموگرام چرخه‌ای لایه نازک نقره (با مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ ثانیه) در داخل محلول بافر فسفات (pH=۳) با سرعت روبش ۰/۰۵ ولت بر ثانیه با سه روبش متوالی..... ۶۸
- شکل (۴-۱۷): ولتاموگرام چرخه‌ای الکتروکاتالیز دیسکی نقره در محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH=۳) با سرعت روبش ۰/۰۲ ولت بر ثانیه..... ۶۸
- شکل (۴-۱۸): ولتاموگرام چرخه‌ای لایه نازک نقره (با مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ ثانیه) در محلول بافر استات ۰/۱ مولار (pH=۴) با سرعت روبش ۰/۰۵ ولت بر ثانیه با سه روبش متوالی..... ۶۹
- شکل (۴-۱۹): ولتاموگرام چرخه‌ای الکتروکاتالیز دیسکی نقره در محلول بافر استات ۰/۱ مولار (pH=۴) با سرعت روبش ۰/۰۲ ولت بر ثانیه..... ۷۰
- شکل (۴-۲۰): ولتاموگرام چرخه‌ای لایه نازک نقره (با مدت زمان لایه‌نشانی ۲۰ ثانیه) در محلول پتاسیم نیترات (KNO<sub>3</sub>) ۰/۱ مولار با سرعت روبش ۰/۱ ولت بر ثانیه با سه روبش متوالی..... ۷۱
- شکل (۴-۲۱): ولتاموگرام چرخه‌ای هیدروژن پراکسید با سه غلظت متفاوت ۰/۵، ۱ و ۲ در داخل محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار با pH=۷ با سرعت روبش ۰/۰۵ ولت بر ثانیه..... ۷۲
- شکل (۴-۲۲): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو ساختار نقره‌ی تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در زمان رسوب‌گذاری ۶۰ ثانیه و با پتانسیل رسوب‌گذاری (a) -۰/۱ ولت و (b) +۰/۱ ولت..... ۷۶
- شکل (۴-۲۳): تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نانو ساختار نقره‌ی تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در زمان رسوب‌گذاری ۶۰ ثانیه و با پتانسیل رسوب‌گذاری (a) -۰/۱ ولت و (b) +۰/۱ ولت..... ۷۷
- شکل (۴-۲۴): طیف اسپکتروفتومتری فرابنفش-مرئی نانو ساختارهای نقره‌ی تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در پتانسیل رسوب‌گذاری -۰/۱ ولت و در زمان‌های رسوب‌گذاری (a) ۶۰ ثانیه (b) ۱۲۰ ثانیه..... ۷۹
- شکل (۴-۲۵): نمودار نایکوئیست اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی (a) اکسید ایندیم-قلع (ITO)، به همراه نانو ساختارهای نقره‌ی تهیه شده به روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در پتانسیل +۰/۱ ولت و مدت‌زمان‌های رسوب‌گذاری (b) ۱۲۰ ثانیه (c) ۶۰ ثانیه. در محلول ۵ mM Fe(CN)<sub>6</sub><sup>3-</sup>/ Fe(CN)<sub>6</sub><sup>4-</sup> حاوی ۰/۱ M KNO<sub>3</sub>، پتانسیل ۰/۲ ولت و فرکانس ۱۰<sup>-۴</sup> - ۱۰<sup>-۱</sup> Hz..... ۸۱
- شکل (۴-۲۶): نمودار نایکوئیست اسپکتروسکوپی امپدانس الکتروشیمیایی (a) اکسید ایندیم-قلع (ITO)، به همراه نانو ساختارهای نقره‌ی تهیه شده به روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در پتانسیل -۰/۱ ولت و مدت‌زمان‌های رسوب‌گذاری (b) ۱۲۰ ثانیه (c) ۶۰ ثانیه. در محلول ۵ mM Fe(CN)<sub>6</sub><sup>3-</sup>/ Fe(CN)<sub>6</sub><sup>4-</sup> به همراه ۰/۱ KNO<sub>3</sub> مولار، پتانسیل ۰/۲ ولت و فرکانس ۱۰<sup>-۴</sup> - ۱۰<sup>-۱</sup> Hz..... ۸۲
- شکل (۴-۲۷): ولتاموگرام چرخه‌ای نانو ساختار نقره تهیه شده در پتانسیل رسوب‌گذاری +۰/۱ ولت با دو زمان رسوب‌گذاری (a) ۱۲۰ ثانیه (b) ۶۰ ثانیه. در داخل محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH=۳) با سرعت روبش ۰/۰۵ ولت بر ثانیه..... ۸۴
- شکل (۴-۲۸): ولتاموگرام چرخه‌ای نانو ساختار نقره تهیه شده در زمان رسوب‌گذاری ۶۰ ثانیه و در دو پتانسیل رسوب‌گذاری (a) +۰/۱ ولت (b) -۰/۱ ولت. در داخل محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار (pH=۳) با سرعت روبش ۰/۰۵ ولت بر ثانیه..... ۸۵
- شکل (۴-۲۹): ولتاموگرام چرخه‌ای نانو ساختار نقره تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در زمان رسوب‌گذاری ۱۲۰ ثانیه و پتانسیل رسوب‌گذاری +۰/۱ ولت در داخل محلول بافر فسفات ۰/۱ مولار با مقدار pH=۳ و سرعت روبش ۰/۰۵ ولت بر ثانیه با دو روبش متوالی..... ۸۶

- شکل (۴-۳۰): ولتاموگرام چرخه‌ای نانوساختار نقره تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در زمان رسوب‌گذاری ۱۲۰ ثانیه و پتانسیل رسوب‌گذاری  $+0/1$  ولت در داخل محلول بافر استات  $0/1$  مولار با مقدار  $pH=4$  و سرعت روبش  $0/05$  ولت بر ثانیه با دو روبش متوالی..... ۸۷
- شکل (۴-۳۱): ولتاموگرام چرخه‌ای نانوساختار نقره تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در زمان رسوب‌گذاری ۱۲۰ ثانیه و پتانسیل رسوب‌گذاری  $+0/1$  ولت در داخل محلول پتاسیم نیترات  $0/1$  مولار با سرعت روبش  $0/1$  ولت بر ثانیه..... ۸۸
- شکل (۴-۳۲): ولتاموگرام چرخه‌ای هیدروژن پراکسید با غلظت ۲ میلی مولار در حضور نانوساختارهای نقره تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در دو زمان و دو پتانسیل متفاوت رسوب‌گذاری (a) ۱۲۰ ثانیه و  $+0/1$  ولت (b) ۱۲۰ ثانیه و  $-0/1$  ولت (c) ۶۰ ثانیه و  $+0/1$  ولت (d) ۶۰ ثانیه و  $-0/1$  ولت. در داخل محلول بافر فسفات  $0/1$  مولار با  $pH=7$  با سرعت روبش  $0/05$  ولت بر ثانیه..... ۸۹
- شکل (۴-۳۳): ولتاموگرام‌های چرخه‌ای هیدروژن پراکسید با غلظت‌های  $0/5$ ، ۱، ۲ و ۴ میلی مولار در حضور نانوساختار نقره تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در داخل محلول بافر فسفات  $0/1$  مولار با  $pH=7$  با سرعت روبش  $0/05$  ولت بر ثانیه..... ۹۱
- شکل (۴-۳۴): ولتاموگرام‌های چرخه‌ای هیدروژن پراکسید با غلظت‌های ۰،  $0/5$ ، ۱،  $1/5$ ، ۲،  $2/5$ ، ۳،  $3/5$  و ۴ میلی مولار در حضور الکتروود نانوساختار نقره تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در پتانسیل  $-0/1$  ولت و زمان ۶۰ ثانیه، در داخل محلول بافر فسفات  $0/1$  مولار با  $pH=7$ ..... ۹۲
- شکل (۴-۳۵): نمودار کالیبراسیون در اندازه‌گیری هیدروژن پراکسید با غلظت‌های ۰،  $0/5$ ، ۱،  $1/5$ ، ۲،  $2/5$ ، ۳،  $3/5$  و ۴ میلی مولار در حضور الکتروود نانوساختار نقره تهیه شده با روش رسوب‌گذاری الکتروشیمیایی در پتانسیل  $-0/1$  ولت و زمان ۶۰ ثانیه، در داخل محلول بافر فسفات  $0/1$  مولار با  $pH=7$ ..... ۹۲
- شکل (۴-۳۶): ولتاموگرام‌های چرخه‌ای واکنش کاهش هیدروژن پراکسید با غلظت ۲ میلی مولار در داخل محلول بافر فسفات  $0/1$  مولار با  $pH=7$  در حضور الکتروود نانو ساختار نقره تهیه شده در پتانسیل رسوب‌گذاری  $-0/1$  ولت و زمان رسوب‌گذاری ۶۰ ثانیه، با سرعت‌های روبش متفاوت  $0/01$  تا  $0/08$  ولت بر ثانیه..... ۹۳
- شکل (۴-۳۷): نمودار کالیبراسیون برای واکنش کاهش هیدروژن پراکسید با غلظت ۲ میلی مولار در داخل محلول بافر فسفات  $0/1$  مولار با  $pH=7$  در حضور الکتروود نانو ساختار نقره تهیه شده در پتانسیل رسوب‌گذاری  $-0/1$  ولت و زمان رسوب‌گذاری ۶۰ ثانیه، با سرعت‌های روبش متفاوت  $0/01$  تا  $0/08$  ولت بر ثانیه..... ۹۴

# فصل اول:

مقدمه

## ۱-۱- نانو فناوری

نانوفناوری علم ساخت مواد در ابعاد نزدیک به ابعاد اتمی و مولکولی است. واژه نانو از لغت یونانی نانوس<sup>۱</sup> به معنی کوتاه قد و یا کوتوله گرفته شده است. در گفتار علمی، یک نانومتر معادل یک میلیاردیم<sup>۹</sup>  $10^{-9}$  متر است. این بُعد چیزی حدود ۱۸۰۰۰ برابر قطر موی انسان و یا ۱۰ برابر قطر یک اتم است. ذرات با اندازه‌های بین ۱-۱۰۰ nm نانوذرات نامیده می‌شوند که تعداد اتم‌ها یا مولکول‌هایی هستند که به هم وصل شده‌اند و از لحاظ اندازه، واسطه‌ای بین اتم‌های منفرد و اتم‌های متراکم یا همان گونه‌های توده<sup>۲</sup> مانند هستند. کلمه نانوفناوری واژه‌ی نسبتاً جدیدی است اما وجود ساختارهایی با ابعاد نانومتر تازگی ندارد و در حقیقت چنین ساختارهایی به اندازه طول عمر حیات در روی زمین وجود داشته‌اند، آبالون<sup>۳</sup> که نوعی نرم‌تن یا حلزون است، پوسته‌های صدفی بسیار سختی را می‌سازد که دارای رویه‌هایی است که از کلسیم کربنات با ابعاد نانو درست شده‌اند که به کمک مخلوطی از یک کربوهیدرات و پروتئین در کنار هم قرار گرفته‌اند. در واقع پوسته‌های صدفی نمایشی طبیعی از ساختاری است که از ذراتی با ابعاد نانو درست شده‌اند و می‌تواند بسیار سخت باشد. (جی آر و آونس، ۱۳۸۵).

### ۱-۱-۱- پیشینه‌ی نانو فناوری

ریچارد فاینمن<sup>۴</sup> برنده جایزه نوبل فیزیک در سال ۱۹۶۵ به‌خاطر کارهایش در زمینه کوانتوم الکترودینامیک، در طی یک سخنرانی که در اجتماعی در انجمن فیزیک آمریکا در سال ۱۹۶۰ تحت عنوان " فضای زیادی در پایین وجود دارد" ارائه شد، درباره امکان وجود مواد در اندازه نانو و استعداد

---

1- Nanos  
2- Bulk  
3- Abalon  
4- Richard Feynman

نهفته در این گونه مواد سخن گفت. همچنین در خصوص امکان ایجاد خطوطی به فاصله چند اتم از یکدیگر با استفاده از پرتو الکترونی، سخن گفت که دقیقاً پیشگویی انجام لیتوگرافی با پرتو الکترونی است که امروزه برای ساخت تراشه‌های سیلیکونی مورد استفاده قرار می‌گیرد (جی آر و آونس، ۱۳۸۵).

### ۱-۱-۲- زمینه‌ی تحقیقاتی نانوفناوری

به لحاظ تاریخی، توجه گسترده به نانوفناوری، به سال‌های ۱۹۹۶ تا ۱۹۹۸ برمی‌گردد که در آن زمان، همایشی زیر نظر مرکز جهانی ارزیابی فناوری<sup>۱</sup> و بنیاد ملی علوم<sup>۲</sup> و دیگر سازمان‌های ایالتی در آمریکا، با هدف تحقیق و توسعه در زمینه نانوفناوری در سطح جهان و ارزیابی اثرات آن بر اختراعات فنی برگزار شد. نانوفناوری بر این شناخت مبتنی است که ذرات با اندازه کمتر از ۱۰۰ نانومتر در ایجاد نانو ساختارها شرکت کرده و بدین ترتیب ویژگی‌ها و رفتار جدیدی به وجود می‌آورند. دلیل چنین رخدادی، کوچک بودن اندازه ذرات است، که غالباً موجب پیدایش خواص شیمیایی و فیزیکی جدید و رفتار نو در ماده می‌شود. برای مثال مشاهده شده است که ساختار الکترونی، رسانایی، واکنش‌پذیری، دمای ذوب و خواص مکانیکی همگی به‌هنگام کوچکتر شدن اندازه ذرات از یک مقدار مشخص، تغییر می‌کنند. وابستگی رفتار به ابعاد ذره، مهندسی خواص آن را امکان‌پذیر می‌سازد. تحقیقات نشان داده است که این فناوری از توانایی بالقوه عظیمی در سهم بودن در پیشرفت‌های مهم در تمام گستره‌های وسیع و متنوع از زمینه‌های فناوری، از تولید مواد سبک با استحکام بیشتر گرفته تا کاهش زمان رهش داروهای نانو ساختاری در سیستم گردش خون بدن، افزایش ظرفیت ذخیره نوارهای مغناطیسی و فراهم ساختن کلیدهای با سرعت بالا برای رایانه‌ها برخوردار است. در واقع زمینه تحقیقاتی نانوفناوری، یک زمینه بین رشته‌ای بوده و انواع گسترده‌ای از موضوعات، از شیمی کاتالیز نانو ذرات گرفته تا فیزیک لیزر نقطه کوانتومی را در بر می‌گیرد (جی آر و آونس، ۱۳۸۵).

### ۱-۲- خواص نانو ذرات

ذرات در مقیاس نانومتری دو خاصیت مهم دارند، اول اینکه در ابعاد کمتر از ۱۰۰ نانومتر، دیگر قوانین فیزیک کلاسیک در مورد اغلب پدیده‌های مربوط به آن‌ها صادق نیست و قوانین مکانیک

---

1- World Technology Evaluation Center  
2- National Science Foundation



کوانتومی در مورد آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین، خواص اپتیکی و الکتریکی و مغناطیسی آن‌ها در مقایسه با توده همان ماده تغییر می‌کند. دوم اینکه با کاهش اندازه ذرات، نسبت سطح به حجم سیستم ( $A/V$ ) زیاد می‌شود. سطح بسیار بزرگ نانوذرات موجب تأثیر بیشتر آن‌ها بر محیط اطراف و واکنش با مواد دیگر می‌شود. به عنوان مثال، نانوذرات با ساختار بلوری دارای تعداد زیادی اتم روی سطح هستند که نسبت به اتم‌های لایه‌های درونی‌تر ماده، نوارهای ضعیف‌تری تشکیل می‌دهند. به علت شرایط ناپایدار و انرژی سطحی بالا، اتم‌ها در تلاش برای تغییر وضعیت هستند و در نتیجه فعالیت بیشتری برای واکنش با محیط از خود نشان می‌دهند. بنابراین هر چه اندازه ذره کوچک‌تر باشد تعداد اتم‌ها در سطح مواد نیز بیشتر خواهد بود. از طرفی، کوچکتر بودن ابعاد نانوذرات از طول موج بحرانی نور، آن‌ها را نامرئی و شفاف می‌نماید. علاوه بر این، افزایش سطح ذرات، فشار سطحی را کاهش داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات و تغییر در انرژی آزاد سطح می‌شود، که این تغییر در انرژی آزاد سطح، پتانسیل شیمیایی را تغییر می‌دهد و این امر در خواص ترمودینامیکی ماده تأثیر می‌گذارد (گنجو حقیقی، ۱۳۸۶؛ لونی، ۱۳۹۱؛ Compton et al, 2009).

### ۱-۳- انواع نانو ساختارها

وقتی اندازه یا ابعاد یک ماده بطور پیوسته از یک اندازه بزرگ یا میکروسکوپی، نظیر یک متر یا سانتی‌متر، به اندازه‌ای بسیار کوچک کاهش یابد، خواص ماده در ابتدا ثابت مانده، سپس تغییرات اندکی شروع به ظاهر شدن می‌کند تا اینکه در نهایت، هنگامی که اندازه به کمتر از ۱۰۰ نانومتر تنزل کند، تغییرات شدید می‌تواند در خواص ماده رخ دهد. اگر یک بُعد تا حد نانو کاهش یافته و دو بعد دیگر بزرگ باقی بمانند، در این صورت ساختاری موسوم به چاه کوانتومی<sup>۱</sup> بدست می‌آید. هر گاه دو بعد تا حد نانو کاهش یابند و یک بعد بزرگ باقی بماند، ساختار حاصل به‌عنوان یک سیم کوانتومی<sup>۲</sup> نامیده می‌شود. در حالت نهایی از این فرایند کاهش اندازه، که در آن هر سه بعد، حد کوچک نانومتر را پیدا می‌کنند، ماده رابه‌نام نقطه کوانتومی<sup>۳</sup> می‌نامند. کلمه کوانتوم با این سه نوع ساختار همراه است، زیرا تغییرات

---

1-Quantum well  
2- Quantum wire  
3- Quantum dot

در خواص آن‌ها از طبیعت کوانتوم مکانیکی فیزیک در قلمرو فرا کوچک<sup>۱</sup> نشأت می‌گیرد (جی‌آر و آونس، ۱۳۸۵).

### ۱-۳-۱- تهیه نانو ساختارها

ساخت نانوذرات عموماً به دو دسته اصلی روش از پایین به بالا<sup>۲</sup> و از بالا به پایین<sup>۳</sup> تقسیم می‌شود. در روش اول، محصول از مواد ساده‌تر به وجود می‌آید. ساختن محصول به‌گونه‌ای است که چینش اتم‌ها و مولکول‌ها را از مقیاس پایین و ابتدایی شروع کرده و در نهایت به محصول نانومتری مورد نظر می‌رسند. اما در روش دوم برای تولید محصول، یک ماده توده‌ای شکل را اصلاح می‌کنند. به عبارت دیگر، اگر اندازه یک ماده توده‌ای به طور متناوب کاهش داده شود تا به یک ماده با ابعاد نانومتری برسد، از رویکرد بالا به پایین استفاده شده است. این کار اغلب و نه همیشه شامل حذف بعضی از مواد به شکل ضایعات است (نجف‌زاده، ۱۳۸۹).

### ۱-۴- نانوذرات فلزی

نانوذرات به نانوذرات فلزی، غیرفلزی، نیمه‌رسانا و آلی تقسیم‌بندی می‌شوند که دارای نسبت سطح به حجم بالا، اثر اندازه کوانتومی و برهمکنش‌های الکتروپوینامیک هستند. نانوذرات فلزی نماینده خوبی از نانوذرات هستند و به علت کاربرد بالقوه‌شان در زمینه‌های گوناگون مانند فناوری انرژی، فناوری محیط زیست، فتونیک، زیست‌حسگرها و غیره، موضوع بسیاری از تحقیقات تئوری و تجربی هستند. این نانوذرات دارای خواص منحصر بفرد نوری، الکترونیکی، شیمیایی و مغناطیسی هستند که تمام این ویژگی‌ها وابسته به اندازه آن‌ها می‌باشد (Liang et al, 2012).

از جمله فلزات نجیب قدیمی می‌توان به طلا و نقره اشاره کرد که نانوذرات آن‌ها خواص اپتیکی<sup>۴</sup> جالبی نشان می‌دهند که موجب تولید رنگ‌های متنوع در اندازه‌های مختلف می‌شوند، منبع این رنگ‌های جدید و زیبا، جذب قوی و پراکندگی نور توسط این نانوذرات در گستره طیف مرئی است (Liang et al, 2012).

---

1- Ultrasmall  
2- Bottom-up method  
3- Up-down method  
4- Optics

## ۱-۵- نانوذرات نقره

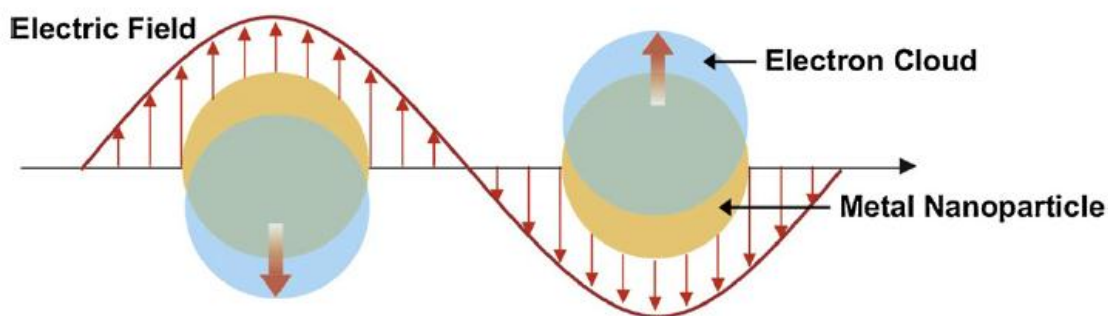
در بین نانوساختارهای فلزی، نقره به علت میزان هدایت الکتریکی و گرمایی بالا، دارا بودن خاصیت ضد باکتری، ارزان بودن در مقایسه با دیگر فلزات نجیب مانند طلا و پلاتین، ویژگی‌های نوری منحصربفرد و دارا بودن بیشترین میزان بازتابش در تمام منطقه IR و همین طور تا طول موج ۴۰۰ nm از اهمیت بالایی برخوردار است. نقره و ساختارهای آن دارای طیف وسیعی از کاربردها در زمینه‌های الکترونیک، کاتالیست، اپتیک، حسگرهای زیستی و شیمیایی، حسگرهای رنگی، اسپکتروسکوپی افزایش یافته سطح رامان<sup>۱</sup> (SERS)، پزشکی، صنایع نساجی و غیره می‌باشند. نانوذرات نقره دارای مزیت‌هایی مانند: سازش‌پذیری زیستی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی تطبیق‌پذیر و روش‌های سنتز<sup>۲</sup> سریع و آسان هستند. این نانوذرات قابلیت جفت شدن با مولکول‌های زیستی مانند پروتئین‌ها، نوکلئیک‌اسیدها و آنزیم‌ها را دارا هستند و از این رو می‌توانند برای شناسایی این ترکیبات مورد استفاده قرار بگیرند. اثر ضد باکتری نقره بر روی طیف وسیعی از میکروارگانیسم‌ها مانند ویروس‌ها و باکتری‌ها، سبب کاربرد گسترده آن در دستگاه‌ها و تجهیزات پزشکی مانند مواد استریلیزه کننده در بیمارستان‌ها، محصولات تجاری مانند کرم‌ها، لوسیون‌ها، تمیزکننده‌های سطح، اسپری‌های اتاق، نگهدارنده‌های غذا و غیره شده است. از سوی دیگر، ویژگی‌های نوری مشخص نانو ذرات نقره که ناشی از پدیده تشدید پلاسمون سطح<sup>۳</sup> (SPR) است، سبب می‌شود که نانوذرات نقره یک جذب قوی در نزدیکی ۴۰۰ nm نشان دهند که این امر امکان استفاده از نقره را در فرایندهای آشکارسازی نوری مانند فلئوئورسانس امکان‌پذیر می‌سازد. همچنین تهیه آشکارسازی الکتروشیمیایی حساس نقره با اعمال پتانسیل اکسیداسیون و احیای مناسب نیز میسر است. در نتیجه نانوذرات نقره در روش‌های شناسایی گوناگونی مانند طیف‌سنجی فرابنفش- مرئی<sup>۴</sup>، پراکندگی رامان افزایش یافته سطح، نورتابی شیمیایی<sup>۵</sup>، ولتامتری پالس تفاضلی<sup>۶</sup> و ولتامتری چرخه‌ای<sup>۷</sup> و غیره بکار برده می‌شوند (Meng et al, 2011; Majid Khan et al, 2011; Liang et al, 2012; Tolaymant et al, 2010)

- 
- 1- Surface Enhance Raman Spectroscopy(SRES)
  - 2- Synthesis
  - 3- Surface Plasmon Resonance(SPR)
  - 4- UV-Visible Spectroscopy
  - 5- Chemiluminescence
  - 6- Differential Pulse Voltammetry
  - 7- Cyclic Voltammetry

### ۱-۵-۱- تشدید پلاسمون سطح (SPR)

نانو ذرات نقره دارای نوارهای جذب قوی در ناحیه طیف مرئی هستند که از رنگ گونه‌های توده مانند آن‌ها کاملاً متفاوت است. این نوارهای جذبی، هنگامی که فرکانس فوتون برخوردی در رزونانس<sup>۱</sup> با نوسان دسته‌جمعی و انبوه الکترون‌های آزاد موجود در نوار هدایت است، به دست می‌آید. این پدیده تشدید پلاسمون سطح نام دارد. شکل (۱-۱) پدیده تشدید پلاسمون سطح را برای نانو ذره کرومی نشان می‌دهد.

در واقع، بار مثبت موجود در نانو ذره، بی حرکت تصور می‌شود و بار منفی (الکترون‌های آزاد) تحت تاثیر میدان‌های خارجی حرکت می‌کنند. جابجایی بارهای منفی از بارهای مثبت وقتی اتفاق می‌افتد که نانو ذره فلزی در معرض میدان الکتریکی قرار می‌گیرد. میدان الکتریکی موج نور رسیده به سطح نانو ذره، سبب قطبش الکترون‌های آزاد با توجه به هسته یونی سنگین‌تر نانو ذره کرومی می‌شود و یک تفاوت بار آشکار در مرز نانو ذرات اتفاق می‌افتد. استفاده از واژه سطح در عنوان تشدید پلاسمون سطح نیز به این علت است که سطح، نقش بسیار مهمی را در مشاهده پدیده تشدید داراست و می‌تواند شرایط مرزی را برای قطبش فلز تغییر دهد و در نتیجه تشدید را به سمت فرکانس‌های نوری انتقال دهد و در این حالت است که الکترون‌های موجود در نوار هدایت مانند یک سیستم نوسانگر عمل می‌کنند.



شکل (۱-۱): پدیده تشدید پلاسمون سطح برای نانو ذره کرومی (Tokonami et al, 2012).

محل پیک جذب SPR به عواملی همچون اندازه، شکل، ساختار و نحوه توزیع نانو ذرات، ویژگی‌های دی‌الکتریک نانو ذرات و همین‌طور دی‌الکتریک محیط اطراف مانند حلال‌ها و یا زیرلایه‌ها بستگی

1- Resonance