(دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۲/۲۱ – دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۰/۱/۲۸)



واژگان کليدي :

چکیدہ

Synthesis and characterization of gold nanoshells for biomedical applications

M.S. Nourbakhsh and M.E. Khosroshahi

Materials and Metallurgical Engineering Department, University of Semnan, Semnan, Iran Amirkabir University of Technology, Faculty of Biomedical Eng., Laser and Nanobiophotonics Lab

Abstract: Gold nanoshells are a new type of nanoparticles including dielectric cores with a continuous thin layer of gold. By varying the core diameter, shell thickness, and the ratio of these parameters, the optical properties of gold nanoshells can be tuned to have maximum absorption in the visible and near infrared spectrum range. The purpose of this research was to synthesize gold coated SiO₂ nanoshells for biomedical applications particularly laser tissue soldering. Nanoshells were = - *

synthesized using Stober method. The nanoshells were characterized by Fourier transform infrared spectroscopy, X-ray diffraction, UV-visible spectroscopy and atomic force microscopy. The Fourier transform infrared spectroscopy confirmed the functionalization of the surfaces of silica nanoparticles with NH_2 terminal groups. A tunable absorption was observed between 470-600 nm with a maximum range of 530-560 nm. Based on the X-ray diffraction, three main peaks of Au (111), (200) and (220) were identified. Also, atomic force microscopy results showed that the diameter of silica core was about 100 nm and the thickness of gold shell about 10 nm. This result showed that it is possible to use these nanoshells with visible and infrared lasers for biomedical applications.

Keywords: gold nanoshells, synthesis, characterization, biomedical applications.

با تنظیم اندازه هسته، ضخامت پوسته و جنس فلز پوسته یا ماده هسته تنظیم کرد[۵]. در سالهای اخیر ساختارهای هسته- پوسته به شدت مورد بررسی قرار گرفتهاند زیرا این ساختارها ویژگیهایی از خود نشان میدهند که برای کاربردهای اپتیکی، سنسورهای بیولوژیکی و در اپتوالکترونیک بسیار مناسب است [۶ و ۷].

به دلایل کاربردی، روشهای محلول، مانند رسوبدهمی نانوذرات از راه ساخت کلوییدی و با تشکیل مستقیم ذرات بر روی سطح با فرایندهای مناسب ترجیح داده میشود.راه اول شامل رسوبدهي الكترواستاتيك ذرات كلوييدي توسط چـسبهای پلےالکترولیت بـروی سـطح اکـسیدی و تثبیت کلوییدهای فلزی در اثر لیگاند بر روی سطوح اکسیدی عامل دار شده بوده. و راه دوم شامل احیای شیمیایی کنترل شده، احیای فوتوشیمیایی یا شیمیایی است[۸]. احیای کنترل شده مولکولهای پیشتاز بر روی سطوح اکسیدی دو برتری مهم دارد: الف: از برهمکنش شیمیایی سطحی کنترل نشده ذرات فلز با عوامل عامل دارکننده جلوگیری میکند که بر تـشدید پلاسـمون سطحی تاثیر زیادی می گذارد [۹ و ۱۰]. ب: سینتیک تجزیه پیشتاز و بنابراین اندازه ذره در دماهای مناسب را کنترل می کند[۱۱]. برای ایجاد ساختارهای هسته - پوسته باید به جوانه زنی بالا و سرعت رشد پایین دست یافت تا چگالی بالای نانوذرات فلزي بر روى سطح بدون تشكيل تجمع ذرات فراهم شود.

نانوپوستههای طلا به طور ویژه برای کاربردهای بیولوژیکی جذاباند زیرا لایه بیرونی آنها از طلای احیا شده تشکیل شده است. این فلز خنثی مقاوم به خوردگی بوده و زیـست سـازگار ۱– مقدمه

نانوپوسته های فلزی ذراتی با هسته دی الکتریک و پوسته فلزی هستند. ویژگیهای اپتیکی نانوپوسته ها با پاسخ الکترونهای هدایت فلز، به ویژه رزونانس پلاسمون تعیین می شود. [۱و۲]. طول موج تشدید پلاسمون برای ذرات جامد کروی به اندازه ذره بستگی دارد. برانگیختگی پلاسمونهای سطحی توسط فوتونهای نور نیازمند شرایط ویژه ای است که با رابطه پراکندگی تعریف می شود:

$$k_{sp} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\varepsilon_{diel} \varepsilon_{met}}{\varepsilon_{diel} + \varepsilon_{met}}}$$
(1)

جایی که k_{sp} بردار موج پلاسمون سطحی، ω بسامد نور و E_{diel} و E_{met} توابع دی الکتریک هسته سیلیکا و پوسته طلا هستند. باید توجه کرد که ثابت دی الکتریک سیلیکا یک عدد مقیقی بوده و ثابت دی الکتریک فلز (طلا) یک عدد مختلط متشکل از دو بخش موهومی و حقیقی است $i^{3} + i^{3} = \epsilon_{met}$ $E_{met} = \epsilon_r + i\epsilon_i$ میدان می متشکل از دو بخش موهومی و مقیقی است i_{3} ا به میدان که قسمت حقیقی (r^{3}) درجه قطبش فلز در پاسخ به میدان الکتریکی خارجی اعمال شده را تعیین میکند و بخش موهومی i_{3} انتقال فاز نسبی این قطبش القایی نسبت به میدان خارجی را بیان کرده وشامل اتلافها نیز هست. برای نانوپوسته ها طول موج رزونانس پلاسمون به نسبت اندازه هسته به پوسته بستگی وپوسته طلا از ۵۰۰ تانومتر تغییر میکند [۳ و ۴].

با قرار دادن مناسب ذرات فلزی بر روی سطح هستههای عایق کروی در مقیاس نانو و به صورت ساختار هسته- پوسته میتوان اثرهای اپتیکی جدیدی را انتظار داشت.تشدیدهای رزونانسهای اپتیکی از فروسرخ نزدیک تا بازه مرئی را می توان

مواد پیشرفته در مهندسی ، سال ۳۰، شمارهٔ ۲، پاییز ۱۳۹۰ (استقلال)

است. در کاربردهای مهندسی پزشکی مانند شناساگرهای طولانی مدت طلا می تواند به عنوان الکترود برای شناسایی از طریق جریان سنجی در الکترولیتهای مختلف شامل اکسیژن، آب اکسیژنه، گلوکز و اوره به کار رود.[۱۲] بر اساس اثر تشدید پلاسمون سطحی نانوپوستهها می توانند به گونهای طراحی شوند که پرتو فروسرخ نزدیک را به شدت جذب نمایند. پرتو فرو سرخ نزدیک در بازه ۵۰۰ تا nm ۱۹۰۰ به علت عدم جذب زیاد توسط کروموفورهای بیولوژیکی و آب و عمق نفوذ اپتیکی بالا در نمونههای بیولوژیکی و بافتها در پزشکی بسیار مورد نوجه است [۱۳ و ۱۴]. با استفاده از نانوپوستهها و پرتو فروسرخ نزدیک وایجاد گرمای موضعی می توان کندگی گرمایی به طور مثال در درمان سرطان را انجام داد که این امر باعث

هدف از این تحقیق سنتز نانوپوستههای دولایه سیلیکا طلا با غلظتهای گوناگون و ویژگییابی آنها به منظور استفاده در کاربردهای پزشکی است که در این کاربردها اثرهای گرمایی ناشی از پلاسمون سطحی نقش تعیین کنندهای دارند.

۲- مواد و روشها

اسیدکلرواوریک ۹۹/۹ (/۹۹ این ایترااتیل ارتوسیلیکات ۹۹/۹ (TEOS) ،۳–آمینوپروپیل تری متوکسی سیلان (APTMS)، تتراکیس هیدروکسی متیل فسفونیم کلراید (۸۰ محلول درآب) (THPC)، کربنات پتاسیم ۹۹٪، فرم آلدیید، محلول هیدروکسید آمونیم (۳۳٪ NH3)، هیدروکسید سدیم ۹۹٪ (NaOH) و آب گرید TPL از شرکت سیگما – آلدریچ خریداری شد. برای ساخت نانوپوسته های طلا، نانوذرات سیلیکا به روش زیر ساخته شدند: ۳ سیسی از محلول هیدروکسید آمونیم به ۵۰ سیسی اتانول خالص اضافه شد. این محلول به شدت به هم زده شد و سپس مقادیر گوناگون ۱سی سی (نمونه الف) و ۱/۵ سیسی (نمونه ب) از محلول اتیل ارتوسیلیکات به صورت قطره قطره به این محلول اضافه شد.

شد که این امر نشانگر تولید نانوذرات سیلیکا است. برای عامل دار کردن سطح نانوذرات سیلیکا ۲۵ میکرولیتر از محلول ۳- آمینوپروپیل تریمتوکسیسیلان به ۵۰ سےسے از محلول حاوی نانوذرات سیلیکا که به شدت به هم زده شده بودند اضافه شد و این مجموعه به مدت ۲ ساعت با هم واکنش انجام دادند تـا واكـنش اتـصال APTMS بـه سـطح نـانوذرات سیلیکا کامل شود. پس از ۲ ساعت با متوقف کردن عمل به هم زدن یک محلول دو فازی تشکیل می شود که ذرات نانوسیلیکا که گروه عاملی APTMS به آنها متصل شدهاند در پایین رسوب کرده و محلول شفافی بر روی آنها قـرار مـیگیـرد. نـانوذرات سیلیکای پوشش داده شده با APTMS با سانتریفیوژ کردن در ســه سـرعت گونــاگون ۲۰۰۰، ۳۵۰۰ و ۵۵۰۰ دور بـر دقیقـه خالص سازی شده و مجددا در اتانول پراکنده می شوند. برای تهیه نانوذرات كلوييدي طلا ابتدا ٥/٥ سي سي از محلول هيدروكسيد سدیم ۱ مولار و ۱ سیسی از محلول تتراکیس هیدروکسی متیل فسفونيم كلرايد (THPC) به ۴۵ سی سی آب ديونيزه اضافه شد. این محلول به مدت ۵ دقیقه به هم زده شد و سپس ۲ سی سی از محلول اسیدکلرواوریک (HAuCl4) به محلول به شدت به هم زده اضافه شد. چند ثانیه پس از افزودن اسید کلرواوریک این مجموعه به رنگ قهوهای روشن در می آید که بیانگر تشکیل نانوکلوئید طلاست. به منظور اتـصال نانوکلوییـدهای طـلا بـه نانوذرات سیلیکا، ۲ سیسی از نانوسیلیکای عاملدار شده به ۲۰ سیسی کلویید طلا در داخل یک لوله اضافه میشود. لوله به مدت ۵ دقیقه به هم زده شده و سپس به مدت ۲ ساعت ساكن مىمانىد. بىراى حىذف نانوخوشەھماى متىصل نىشدە طلا این محلول در ۲۰۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ و رسوب قرمز رنگی در ته لوله تـشکیل مـیشـود. محلـول فوقـانی دور ریختے شدہ و رسوب باقی ماندہ مجددا در آب پراکنده می شود. به منظور رشد طلا بر روی این نانوذره ۲۵ میلیگرم از کربنات پتاسیم در ۱۰۰ سیسی آب حل شده و به مدت ۱۰ دقیقه به هم زده شد. سپس ۱/۵ سی سی از محلول اسيد كلرواوريك به اين محلول اضافه ميشود. اين



محلول ابتـدا زردرنـگ بـوده وسـپس در طـول ۲۰ تـا ۳۰ دقيقـه بی رنگ می شود. به ۲۰ سی سی از این محلول به شدت به هم زده شده و به آن ۱ سیسی از محلول شامل نانوذرات طلا / APTMS/ سیلیکا اضافه شد. این محلول به رنگ بنفش بود که پس از افزودن ۴۰ میکرولیتر فرم آلدیید رنگ این مجموعه به آبی تغییر کرد که بیانگر تـشکیل نانوپوسـتههـای طلاسـت. بـرای ویژگییابی نانوپوستههای طلا طیف فرابنش– مرئی نانوذرات در محلول با استفاده از طيف سنج (Philips PU8620) در بازه طول موج ۱۹۰ تا ۹۰۰ نانومتر با مخلوط مناسب اتانول و آب به عنوان مرجع برای نمونه های (الف) و (ب) انجام شد توپو گرافی سطح و زبری و نیز اندازه نانوپوسته ها با استفاده از AFM مدل (Dual scope/Raster scope C26, DME, Denmark) مورد بررسی قرار گرفت. طیف فروسرخ میانی قلـههـای جـذب سیلیکا، سیلیکای عاملدار شدہ و نانوپوسته طلا با مد عبوری دستگاه طيف سنجي تبديل فوريه فروسرخ (FTIR) مدل (Brucker, EQUINOX 55, Germany) بەدست آمد و در نهایت برای دستیابی به الگوی پراش پرتو ایکس نمونههای نهایی آزمون XRD به کار برده شد.

۳- نتایج وبحث سیلیکا (SiO₂) به علت پایداری فوق العاده در برابر انعقاد،



ماده بسیار مناسبی برای تشکیل ذرات هسته - پوسته است. طبیعت غیر انعقادی آن به علت مقدار بسیار اندک ثابت هاماکر است که نیروهای جاذبه واندروالسی بین ذرات و محیط را تعیین میکند [۱۸]. افزون بر این از نظر شیمیایی خنثی، از نظر اپتیکی شفاف بوده و واکنشهای اکسایش -کاهش در سطوح هسته را تحت تاثیر قرار نمی دهد [۱۹]. از آنجا که این ذرات به خوبی در محیط پراکنده می مانند برای اهداف متعدی مناسب اند و می توان آنها را با پوشش دهی مناسب با یک پوسته در برگیرنده تولید کرد. ساخت نانوذرات سیلیکا از طریق روش استوبر صورت می گیرد[۰۲]. این روش در بر گیرنده هیدرولیز و تغلیظ پی در پی تترا اتیل ارتو سیلیکات در محیط الکلی است.

Si $(OC_2H_5)_4 + 4H_2O \rightarrow Si (OH)_4 + 4C_2H_5OH$ Si $(OH)_4 \rightarrow SiO_2 + 2H_2O$ ft metation m

طیف مرئی – فرابنفش ثبت شده برای دو نمونه (الف) و (ب) در شکل(۲) آورده شده است. برای نانوپوسته های طلای ساخته شده با ۱ سی سی TEOS یک قله در ۵۳۵ nm دیده شد در حالی که با استفاده از ۱/۵ سی سی TEOS قله طیف یک

مواد پیشرفته در مهندسی ، سال ۳۰، شمارهٔ ۲، پاییز ۱۳۹۰ (استقلال)



جابهجایی قرمز در حدود nm ۵۵۶ را نشان میدهد. به نظر میرسد که این امر مربوط به پدیده تشدید پلاسمون سطحی باشد. موقعیت قله رزونانس به برهمکنش پلاسمون بین لایههای درونی تر و بیرونی تر طلا بستگی دارد.

همان گونه که در شکل (۲) دیده میشود افزایش میزان TEOS باعث می شود کـه قلـه ای پلاسـمون اپتیکـی متحمـل جابهجایی قرمز شود که با پیش بینیهای نظری راجع به این ذرات نیز مطابقت دارد. با پیشرفت فرایند رشد نانوپوسته قلههاي پلاسمون اپتيكي اندكي جابهجايي قرمز يافته ونيز پهـن شدگی قله مـشابه بـا نتـایج مـشاهده شـده توسـط ويـسنر ٔ در مطالعات طیف سنجی مربـوط بـه صـفحات کوچـک طـلا در محلول است[٢١]. این پدیده نشان میدهد که هسته سیلیکا به طور کامل با لایـه طـلا پوشـیده و طیـف جـذبی آن تـابعی از نسبتهای اضافی TEOS است. افزون بر این نانوپوستههایی که به طور كامل ساخته شده و دارای قله تـشدید پلاسـمون در بازه ناحیه ۵۰۰ تا ۶۰۰nm هستند می توانند به عنوان یک ابزار قـوی در تصویربرداری زیستی و زیست حسگرها استفاده شوند .طیف جذبی اپتیکی نشان داده شده در شکل (۲) در مقایسه با کلوییدهای خالص طلا نسبتا پهن شده است. بر طبق نظریه پراکنگی Mie، هندسه نانوپوستهها می تواند به طور کمی برای جابهجایی تشدید پلاسمون و پهن شدگی خط محاسبه شود به علاوه پهنشدگي پلاسمون با پراکندگي الکترون سطحي تعيين مي شو د [۲۲].



طیف سنجی فروسرخ اطلاعات ارزشمندی دررابطه با ساختار سطح نانوذرات ارائه می دهد. به طور ویژه، طیف سنجی فروسرخ آرایش و انباشتگی زنجیره های سطحی را به خوبی نمایان می سازد. سطح نانوذرات هسته معمولا با مولکولهای دو عاملی اصلاح می شود تا پوشش ماده پوسته بر روی سطح آنها را افزایش دهد[۲۳] در این تحقیق سطح ذرات هسته سیلیکا با مولکولهای آلی دو عاملی APTMS اصلاح شد. این مولکول دارای گروه متوکسی در یک انتها و گروه آمین در انتهای دیگر است و از طریق گروه هیدروکسی با ذرات سیلیکا پیوند کووالانتی تشکیل می دهد و سطح آنها به گروه HN ختم می گردد. طیف فروسرخ سیلیکای عاملدار شده با APTMS و نانوذرات پوشش داده شده با طلا برای نمونههای (الف) و (ب)

قله های اصلی عبارت اند از ^۱-۳۴۳۱ (باندهای NH2 (باندهای ۳۴۳۱ (باندهای NH2 (باندهای ۳۴۳۱ (باندهای نامتقارن) ، ^۱-۱۶۳۴ (O-H) (باندهای و ^۱-۵۶۳ که مربوط به مد خمشی Si-O-Si است. پوسته نیز باندهای کشسانی متقارن Si-O-Si در ^۱-۵۱ (و باندهای نامتقارن Si-O-Si را در حدود ۱۱۰۰ cm⁻¹.

برای اثبات پوشش دهی کامل به وسیله نانوذرات طلا از تحلیل پراش پرتو ایکس استفاده شد. الگوی پراش نانوپوسته ها که در شکل (۵) نشان داده شده، بیانگر بازتابهای مشخصه طلا با ساختار JCPDS No.04-0784 JFCC) است. قله های مربوط به پراش پرتو ایکس در مقادیر ۲۵ برابر با



[6.30V -> 9.18V]5.29V -> 9.26V



۴۴/۴۱، ۲۸/۲۰ و ۶۵/۵۴ است که به ترتیب مربوط به صفحات (۱۱۱۱)، (۰ ۰ ۲) و (۰ ۲ ۲) از فاز مکعبی طلاست.

با تغییر نسبت TEOS به محلول ذرات با ابعاد گوناگون را می توان ساخت. کاهش غلظت TEOS باعث تشکیل ذرات کوچکتر می شود. ذرات سیلیکایی که با روش فوق ساخته شده-اند آمورف و متخلخلاند. شکل(۶- الف) تصویر AFM از نانوذرات سیلیکای ساخته شده با روش اشاره شده در بخش مواد و روشها را نشان می دهد. نمونه ای از نانوپوسته طلای پوشش داده شده بر روی هسته سیلیکا در شکل (۶- ب) نشان داده شده است. ذرات کلوئیدی کوچک طلا بر روی نانوذرات هسته سیلیکای عامل دار شده با APTM متصل شدهاند که به صورت الگو برای رشد طلا بر روی این لایه اند.

اندازه نانوپوسته ها که با AFM تعیین شدهاند در بازه ۷۵ تا ۱۲۰nm می باشند. این تصاویر اطلاعات مفیدی درباره توپوگرافی سطح و اندازه نانوذرات طلا با وضوح عالی فراهم می سازد که این ابعاد به طور موثر با طیف جذب اپتیکی این نانوپوسته ها همبستگی دارد.

به منظور ارزیابی اثرهای نورگرمایی برپایه پلاسمون سطحی نانوساختارهای ساخته شده، نمودار تغییرات دمای بافت به عنوان تابعی از چگالی توان لیزر در شکل (۷) نـشان داده شده است.

همان گونه که در این نمودار مشخص است نه تنها دما با افزایش چگالی توان لیزر افزایش مییابد بلکه در چگالی توان ثابت نیز با افزایش غلظت نانوپوستههای طلا دما افزایش مییابد

مواد پیشرفته در مهندسی ، سال ۳۰، شمارهٔ ۲، پاییز ۱۳۹۰ (استقلال)

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق نانوپوسته های طلای رسوب داده شده بر روی سطح هسته سیلیکا و ویژگیهای اپتیکی و شیمیایی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. قابلیت تنظیم منحصربه فرد و ویژگیهای اپتیکی نانوپوسته های طلا آنها را برای کاربردهای بیوفو تونیک مناسب و مطلوب می سازد. به طور کلی ما نشان دادیم که نانوپوسته های طلا با ضخامت قابل تنظیم را می توان بر روی هسته دی الکتریک سیلیکا با قطر نهایی ۵۷ تا mn ۱۳۵ m ساخت و ضخامت هسته و اندازه نهایی نانوپوسته با غلظت ماخت یا می TIR و پوشش کامل پوسته طلا بر روی هسته سیلیکا را اثبات کردند.



کـه ایــن امـر بــا مقطـع عرضـی جــذب افــزایش یافتــه بــرای نانوپوستههای طلا هماهنگی کامل دارد.

3. Sigma-Aldrich

4. Wiesner

واژەنامە

مراجع

- 1. Stober
- 2. Uv-Vis Spectroscopy
- Sershen, S. R., Westcott, S. L., West, J. L., and Halas, N.J., "An Opto-Mechanical Nanoshell–Polymer Composite", *Appl. Phys B.*, Vol. 73, pp. 379–381, 2001.
- Oldenburg, S. J., Averitt, R. D., Westcott, S. L., and Halas, N.J., "Nanoengineering of Optical Resonances", *Chem. Phys. Lett.*, Vol. 288, pp. 243–247, 1998.
- Shinong, Y., Wang, Y., Wen ,T., and Zhu, J., "A Study on the Optical Absorption Properties of Dielectric-Mediated Gold Nanoshells", *Physica E.*, Vol. 33, pp. 139–143, 2006.
- Jain, P., Lee, K., and El-Sayed I., "Calculated Absorption and Scattering Properties of Gold Nanoparticles of Different Si, 1999ze, Shape, and Composition: Applications in Biological Imaging and Biomedicine," *J. Phys. Chem.* B, Vol. 110, pp. 7238-7248, 2006.
- Westcott,S. L., Oldenburg, S. J., Lee, T. R., and Halas, N.J., "Construction of Simple Gold Nanoparticle Aggregates with Controlled Plasmon— Plasmon Interactions", *Chem. Phys. Lett.*, Vol. 300, pp. 651-655, 1999.
- Cui, Y., Wang, Y., Zhifeng, Zh., and Xiaofang, X., "The Synthesis of Gold Mag Nanoparticles and their Application for Antibody Immobilization", *Biomed. Microdevices*, Vol. 7, pp. 153-156, 2005.
- 7. Kasili, P. M., Dinh, T. V., "Optical Nanobiosensor for Monitoring an Apoptotic Signaling Process in a

Single Living Cell Following Photodynamic Therapy," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, Vol. 5, pp. 2057-2062, 2005.

- Giersig, M., Ung, T., and Mulvaney, P., "Direct Observation of Chemical Reactions in Silica Coated Gold and Silver Nanoparticles," *Adv. Mater.*, Vol 9, pp. 570-575, 1997.
- Templeton ,A. C., Pietron, J. J., and Mulvaney, P., "Solvent Refractive Index and Core Charge Influences on the Surface Plasmon Absorbance of Alkanethiolate Monolayer-Protected Gold Clusters," *J. Phys. Chem.* B, Vol. 194, No. 3, pp. 564-570, 2000.
- Hodak, J., Henglein, A., and Hartland, G. V., "Photophysics of Nanometer Sized Metal Particles: Electron–Phonon Coupling and Coherent Excitation Of Breathing Vibrational Modes," *J.Phys. Chem.* B, Vol. 104, pp. 9954-9965, 2000.
- Mayer, A. R., Grebner, W., and Wannemacher, R., "Preparation of Silver-Latex Composites" *J. Phys. Chem.* B, Vol. 104, pp. 7278-7285, 2000.
- Pandey, P., Arya, S. K., Matharu, Z., Datta, M., and Malhotra, B. D., "Polythiophene Gold Nanoparticles Composite Film for Application to Glucose Sensor", *J. Appl. Polym .Sci*., Vol. 110, pp. 988-994, 2008.
- 13. Hirsch, L. R., Stanfford ,R. J., and Bankson, J. A., "Nanoshell-Mediated Near-Infrared Thermal Therapy

۶٧

of Tumors Under Magnetic Resonance Guidance," *Proc. Natl. Acad. Sci.*, Vol. 100, pp. 13549–13554, 2003.

- Nourbakhsh, M. S., and Khosroshahi, M. E., "An in-Vitro Investigation of Skin Tissue Soldering Using Gold Nanoshells and Diode Laser," *Laser Med. Sci.*, Vol. 26, pp. 49-55, 2011.
- Stern, J. M., Stanfield, J., and Kabbani, W., "Selective Prostate Cancer Thermal Ablation with Laser Activated Gold Nanoshells," *J. Urol.*, Vol. 179, pp. 748–753, 2008.
- 16. O'Neal, D. P., Hirsch, L. R., Halas, N. J., and Payne, J.D., "Photothermal Tumor Ablation in Mice Using Near Infrared-Absorbing Nanoparticles," *Cancer Lett.*, Vol. 209, pp. 171–176, 2004.
- M. E. Khosroshahi, and L. Ghazanfari, "Preparation And Characterization of Silica-Coated Iron-Oxide Bionanoparticles Under N₂ Gas," *Phisica E*, Vol. 42, pp. 1824-1829, 2010.
- Liz-Marzan, L. M., Correa-Duarte, M.A., Mulvaney, P., and Kotov, N.A., Core-Shell Nanoparticles and Assemblies Thereof, *Hand Book of Surfaces and Interfaces of Materials* Vol. 3: Nanostructured Materials, Micelles and Colloids, Ch. 5, pp. 189-237, 2001.
- 19. Ung, T., Liz-Marzan, L.M., Mulvaney, P., "Controlled

Method for Silica Coating of Silver Colloids. Influence of Coating on the Rate of Chemical Reactions," *Langmuir*, Vol. 14, pp. 3740–3748, 1998.

- 20. Stöber, W., Fink, A., and Bohn, E., "Controlled Growth of Monodisperse Silica Spheres in the Micron Size Range". J. Colloid Interface Sci., Vol. 26, pp. 62–69, 1968.
- 21. Wiesner, J., Wokaun, A., and Hoffmann, H., "Surface Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) of Surfactants Adsorbed to Colloidal Particles", *Progress in Colloid & Polymer Science*, Vol. 76, pp. 271-277, 1988.
- 22. Lu, H. C., Tsai, I. S., and Lin, Y. H., "Development of Near Infrared Responsive Material Based on Silica Encapsulated Gold Nanoparticles," *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 188, pp. 12039-12045, 2009.
- Van Blaaderen, A., and Vrij, A. J., "Synthesis and Characterization of Monodisperse Colloidal Organo-Silica Spheres," *J. Colloid Interface Sci.*, Vol. 156, pp. 1–18, 1993.
- 24. Patra, A., Sominska, E., Ramesh, S., Koltypin, Y., "Sonochemical Preparation and Characterization of Eu203 and Tb203 Doped in and Coated on Silica and Alumina Nanoparticles," *J. Phys. Chem.B*, Vol. 103, pp. 3361–3365, 1997.