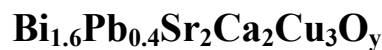




## ساخت و بررسی تأثیر نانوذرات Au بر چگالی جریان بحرانی و ریزساختار ابررسانای



مرتضی زرگروشتری، سیدابراهیم موسوی قهفرخی\*، راهیل کلانترهرمزی

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز

(دریافت مقاله: ۸۹/۱۰/۱۹، نسخه نهایی: ۹۰/۲/۱۷)

**چکیده:** در این مقاله، چگونگی ساخت نانوذرات Au به روش محلولی و نیز تأثیر این نانوذرات بر چگالی جریان بحرانی، مقاومت نمونه‌ها در دمای اتاق، انرژی فعال‌سازی و ریزساختار ابررسانای پایه‌ی بیسموت گزارش شده است. چگالی جریان بحرانی، مقاومت نمونه‌ها در دمای اتاق و انرژی فعال‌سازی به روش چهار میله‌ای اندازه‌گیری شده‌اند. ریزساختار و ریخت‌شناسی نمونه‌ها نیز با استفاده از XRD و SEM بررسی شدند. نتایج حاصل از الگوهای پراش نشان می‌دهند که درصد فاز  $\text{Bi} - 2223$  در نمونه‌های ابررسانای  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  با درصد کم نانوذرات طلا ( $\text{Au} = 1\%$ ) و زمان پخت ۷۲ ساعت افزایش می‌یابد. همچنین در بررسی‌های انجام شده روی نمونه‌های ساخته شده، مشخص شد که نانوذرات طلا باعث افزایش نسبی چگالی جریان بحرانی و انرژی فعال‌سازی می‌شوند.

**واژه‌های کلیدی:** نانوذرات طلا، Au، چگالی جریان بحرانی، انرژی فعال‌سازی.

### مقدمه

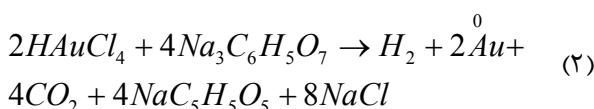
فناوری برای آن‌ها رقم بزند [۳،۲]. نانوذرات دارای کاربردهایی در حوزه‌ی کاتالیزورها، سرامیک‌ها و دیگر وسایل اپتوالکترونیک هستند [۴-۶]. با این که روش‌های متعددی برای تولید نانوذرات وجود دارد [۷،۸]، ولی در این مقاله نانوذرات طلا به روش محلولی تهیه شدند [۹،۱۰]. با توجه به این که با کاهش اندازه‌ی ذرات و رسیدن به حد نانو، مواد خواصی غیر از خواص حالت کپه‌ای از خود نشان می‌دهند، به نظر می‌رسد که تأثیر آرایش نانوذرات نیز بر ابررساناها بررسی شود. این امر اکنون نظر پژوهشگران را به خود معطوف کرده است. ابررسانای پایه‌ی Bi با فرمول عمومی  $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Ca}_{n-1}\text{Cu}_n\text{O}_{2n+4+\delta}$  دارای سه فاز اصلی به ازای  $n = 1$  ( $\text{Bi} - 2201$ )،  $n = 2$  ( $\text{Bi} - 2212$ )،  $n = 3$  ( $\text{Bi} - 2223$ ) و  $n = 4$  ( $\text{Bi} - 2234$ ) است.

بشر می‌تواند در چگونگی آرایش و چینش اتم‌ها دخالت کند. فناوری نانو، توانمندی تولید مواد، ابزارها و سیستم‌های جدید در اندازه‌ی مولکولی و اتمی (۱ تا ۱۰۰ نانومتر) و بهره‌گیری از خواصی است که در آن مقیاس ظاهر می‌شوند. یک نانومتر، برابر با یک میلیاردم متر و یا به عبارت دیگر، حدود هشتاد هزار ریزتر از قطر تار موی انسان است. با توجه به تعریف نانوذرات ممکن است این ذهنیت به وجود آید، که این ذرات با چنین ابعادی در هوا معلق خواهند ماند، اما در واقع چنین نیست و نیروهای الکتروستاتیکی بین این ذرات، آن‌ها را در کنار هم قرار می‌دهد [۱]. نانوذرات خواص ویژه اپتیکی، مغناطیسی، الکتریکی و شیمیایی متفاوتی را از حالت توده خود به نمایش می‌گذارند، این امر می‌تواند کاربردهای مهمی را در زمینه‌ی

[۱۸،۱۷]. با اضافه کردن سیترات سدیم، رنگ محلول از زردی به بی‌رنگی گرائید و پس از آن به تدریج سیاه شد. گرمادهی و هم‌زدن محلول، تا حدود ۱۵ دقیقه‌ی دیگر نیز ادامه یافت. در ادامه آزمایش، رنگ محلول از سیاه به ارغوانی تبدیل شد و در نهایت به رنگ سرخ تیره در آمد. در طول فرآیند ساخت، مقداری از محلول تبخیر می‌شود. برای جبران آب تبخیر شده و ثابت نگاه داشتن نسبت نمک طلا به سیترات سدیم، هم‌زمان با فرآیند گرمادهی و هم‌زدن محلول، مقداری آب مقطر دوبار یون‌زدایی شده اضافه شد تا حجم نهایی نزدیک ۲۲ ml باقی بماند. برای رسیدن به نسبت دقیق ۱:۱۰ میان طلا، سیترات یا ثابت نگهداشتن حجم محلول، دهانه‌ی بشر با یک فویل آلومینیومی پوشانده شد و سوراخ کوچکی برای قرار دادن دماسنج در آن تعبیه شد. سپس گرمادهی به محلول قطع شد، ولی هم‌زدن محلول تا رسیدن به دمای اتاق ادامه یافت. این رنگ قرمز، آژیر پایان ساخت نانوذرات طلا را به صدا در خواهد آورد [۱۹]. تغییر رنگ محلول از زرد به قرمز تیره با احیای  $\text{HAuCl}_4$  به  $\text{Au}^0$ ، روند زیر را طی خواهد کرد [۲۰].

### (قرمز تیره) $\text{Au}^0 \rightarrow$ (بی‌رنگ) $\text{Au}^I \rightarrow$ (زرد) $\text{Au}^{III}$

به واسطه‌ی تغییر رنگ شدیدی که هنگام جوشیدن محلول رخ می‌دهد، تشکیل نانوذرات طلا به روش احیای سیتراتی، حتی با چشم غیر مسلح نیز به‌خوبی دیده می‌شود. سازوکار واکنش احیای نمک طلا با سیترات سدیم به صورت رابطه‌ی ۲ است:



لازم به یادآوری است که در این پژوهش با رعایت نسبت مولی ۱:۱۰ میان طلا: سیترات، رنگ قرمز تیره، مهر تأیید تشکیل نانوذرات طلا بود. با تغییر نسبت مولی میان طلا: سیترات، شاهد گستره‌ای از رنگ‌های متفاوت برای نانوذرات طلا خواهیم بود [۲۲،۲۱]. نانوذرات طلای تولید شده، به واسطه‌ی دافعه‌ی الکتروستاتیکی میان یون‌های منفی سیترات جذب شده، یکپارچه دیده نمی‌شوند.

در این مرحله نوبت به ته‌نشین کردن نانوذرات طلا می‌رسد. برای جدا کردن نانوذرات طلای معلق و فاز آلی محلول کلوییدی از یکدیگر، از مرکز گریز ۱۴۰۰۰ دور بر دقیقه استفاده شد تا با اعمال نیروی مرکز گریز بیشتر بر نانوذرات معلق در آب، جمع‌آوری آن‌ها را تسهیل کند. برای شستشوی

$T_c \cong 110$  است. بین این سه فاز، فاز  $\text{Bi} - 2223$  به‌خاطر دمای گذار بحرانی ( $T_c$ ) بالا بیشتر مورد توجه است. ساختار بلوری هر سه فاز ابررسانای پایه‌ی بیسموت به‌شکل راستگوشه است. آنچه که این فازها را از هم متمایز می‌کند، اندازه‌ی محور  $c$  در شبکه‌ی راستگوشه است که به ترتیب افزایش  $T_c$  دارای طول‌های ۲۴۶۰، ۳۰۷۰ و ۳۸۱۰ آنگسترم است. افزایش پارامتر  $c$  به تفاوت تعداد لایه‌های  $\text{Ca}$  و  $\text{CuO}_2$  وابسته است که با افزایش دمای گذار همراه است. ساخت اکسیدهای پایه‌ی بیسموت به‌خصوص فاز  $\text{Bi} - 2223$  به‌صورت تک فاز بسیار مشکل است و معمولاً چندین فاز، هم‌زمان تشکیل می‌شوند [۱۱-۱۳]. روش‌هایی برای افزایش مقدار فاز  $\text{Bi} - 2223$  با توجه به کاربردهای گسترده‌ی و دمای گذار بالای آن نسبت به دیگر فازها صورت گرفته است. از جمله این روش‌ها، گرمادهی طولانی [۱۴]، دمای کلوخه‌سازی [۱۵]، نوع و مقدار آلیش [۱۶] گزارش شده است. در این مقاله، با آلیش نانوذرات طلا در ابررسانای  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  نمونه‌هایی از آن ساخته شدند. با روش استاندارد چهار میله‌ای، چگالی جریان بحرانی، مقاومت نمونه‌ها در دمای اتاق و انرژی فعال‌سازی و نیز ریزساختار به وسیله‌ی XRD با پراش سنج PW1840 ساخت شرکت فیلیپس با آند مسی و نیز تصاویر SEM با میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل 1455VP ساخت شرکت LEO بررسی شدند. به‌منظور اطمینان از تشکیل نانوذرات طلا، از دستگاه بیناب نورسج UV-Visible استفاده شد آمد.

### شرح کار و اندازه‌گیری‌ها

برای تهیه‌ی نانوذرات طلا، از ۲۰ ml اسیدکلروواترات ( $\text{HAuCl}_4$ ) استفاده شد. مقدار نمک طلای مورد نیاز، با استفاده از رابطه‌ی ۱ به‌دست آمد.

$$M \left( \frac{\text{mol}}{\text{liter}} \right) \times V(\text{liter}) = \frac{m}{A} \quad (1)$$

در رابطه‌ی ۱،  $M$  مولاریتی،  $m$  جرم ماده،  $A$  جرم مولکولی و  $V$  حجم محلول است. بدین منظور ۰/۰۰۶۷۹ گرم از نمک طلا، در ۲۰ ml آب دوبار یونیده حل شد و محلول زرد شفاف به دست آمد. محلول مورد نظر در بشری ریخته شد و با یک همزن مغناطیسی هم زده شد. هم‌زدن محلول، برای بالا بردن احتمال مشابه‌تر شدن ذرات انجام بوده است. با به جوش آمدن محلول در  $97.5^\circ\text{C}$ ، به‌سرعت و یکباره ۲ ml از سیترات سدیم ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ )، به‌عنوان عامل کاهنده به ترکیب اضافه شد

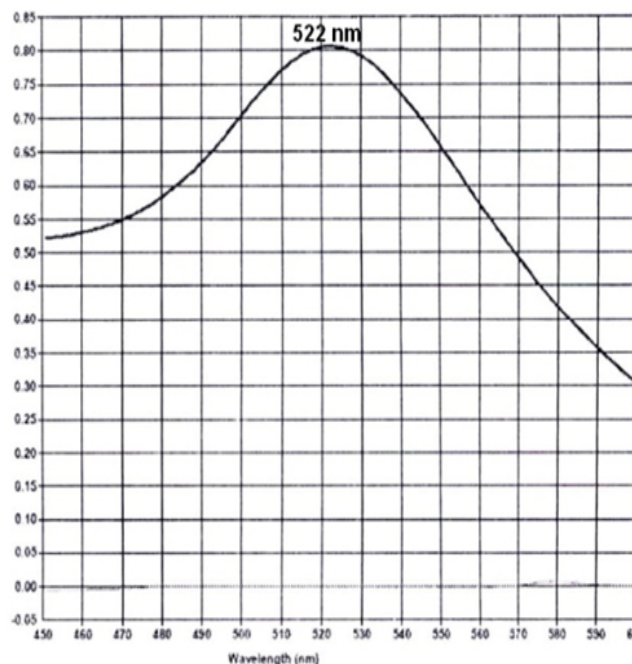
ساعت آسیا شد و تحت فشار  $5 \times 10^4$  Pa، نمونه‌های میله‌ای با طول ۲ cm و سطح مقطع یکسان حدود  $0.12 \text{ cm}^2$  تهیه و درون کوره قرار گرفتند. مرحله کلوخه سازی در دمای  $845^\circ\text{C}$  با زمان پخت ۷۲ ساعت انجام گرفت. برای اندازه‌گیری انرژی فعال‌سازی، مقاومت نمونه‌ها در دمای اتاق و چگالی جریان بحرانی ابتدا با یک منبع تغذیه، جریان مستقیم از دو اتصال به نمونه اعمال شده و ولتاژ از دو اتصال وسطی اندازه‌گیری شد. با تغییر جریان، منحنی‌های V-I برای هر کدام از نمونه‌ها رسم و با داشتن سطح مقطع آن‌ها، چگالی جریان بحرانی برای هر نمونه بدست آمد [۲۴]. از نمونه‌های ساخته شده، الگوهای پراش و تصاویر SEM تهیه شدند.

#### بحث و بررسی

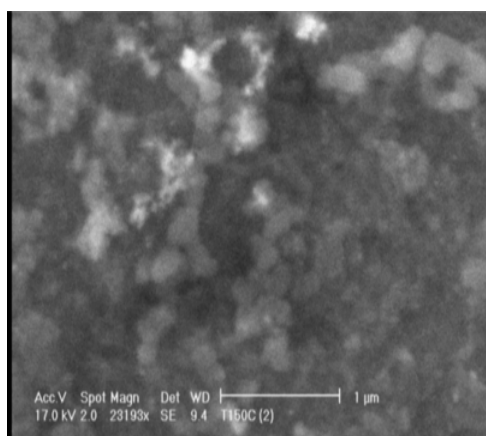
شکل ۱ بررسی طیف مرئی یک نمونه نوعی گرفته شده از نانوذرات طلا را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱ بیشینه جذب در  $522 \text{ nm}$  از تأیید تشکیل نانوذرات طلا خبر می‌دهد [۲۵]. شکل ۲ تصویر SEM گرفته شده از نانوذرات طلا را نشان می‌دهد. با استفاده از شکل ۲ و نرم افزار Nanomeasurement ابعاد نانوذرات طلا اندازه‌گیری شد و نمودار ستونی فراوانی بر حسب اندازه‌ی نانوذرات طلا در شکل ۳ نشان داده شده است.

نانوذراتی که به دیواره‌ی میکروتیوب هنگام مرکز گریز شدن، چسبیده بودند، از استون استفاده شد. به‌منظور اطمینان از تشکیل نانوذرات طلا، از اسپکتروفوتومتر UV-Visible استفاده شد، و برای بررسی ریخت‌شناسی و چگونگی رشد نانوذرات، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مورد استفاده قرار گرفت.

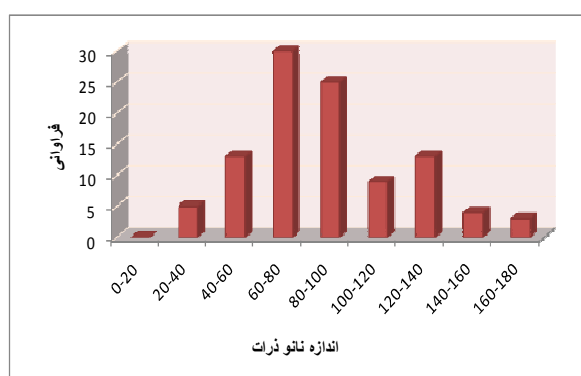
برای ساخت نمونه‌های ابررسانا، مقادیر معینی از پودرهای اولیه  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CuO}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{SrCO}_3$  با درجه‌ی خلوص ۹۹/۹۹٪ و نانوذرات Au با درصد‌های مناسب وزن شدند. پس از آسیای پودرهای اولیه به مدت یک ساعت، برای ساخت چهار نمونه ابررسانای  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  آرایش شده با درصد وزنی نانوذرات طلای ۰، ۰.۵، ۱، و ۲ درصد از روش فلاکس Cu استفاده شد. پودرها درون بوت‌هایی از جنس آلومینا ریخته و آن‌ها درون کوره الکتریکی قرار گرفتند. علت انتخاب روش فلاکس Cu (اضافه کردن مقداری Cu بیش از عنصر سنجی) آن است که درصد فاز  $\text{Bi} - 2223$  در نمونه بیشتر می‌شود [۲۳]. به‌منظور جلوگیری از تشکیل فازهای ناخواسته در طول فرآیند با روش واکنش حالت جامد، عمل تکلیس که شامل یک گرما دهی در دمای  $820^\circ\text{C}$  است، که به مدت ۱۵ ساعت انجام گرفت. محصول تکلیس شده به مدت ۳



شکل ۱ طیف UV-Visible نانوذرات طلا.

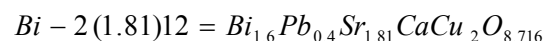
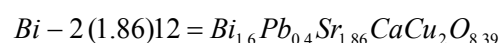


شکل ۲ تصویر SEM نانوذرات طلا.



شکل ۳ نمودار فراوانی بر حسب اندازه‌ی نانوذرات طلا.

$$\sum I(Bi-220) + \sum I(Bi-2(1.86)12) + \sum I(Bi-2(1.81)12)$$



در این جا I شدت فاز است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های فازهای موجود در نمونه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. از جدول ۱ به خوبی مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار نانوذرات طلا تا ۱٪، درصد فاز Bi-۲۲۲۳ به ۳۴٫۰۱٪ (نمونه c) می‌رسد که با افزایش درصد فاز Bi-۲۲۲۳، فازهای Bi-۲۲۰۱، Bi-۲۲۱۲ و Bi-۲۲۲۳ کاهش می‌یابد. برای مقادیر  $Au > 1\%$ ، درصد فاز Bi-۲۲۲۳ از ۳۴٫۰۱٪ (نمونه c) به ۱۱٫۷۸٪ (نمونه d) کاهش یافته و در نتیجه فازهای ناخواسته افزایش می‌یابند. ثابت‌های شبکه نمونه‌های آلیس شده نسبت به نمونه آلیس نشده تغییر محسوسی نمی‌کنند و ساختار سلول واحد ترکیب، اورتورومبیک باقی می‌ماند. جدول ۲، ثابت‌های شبکه برای نمونه آلیس نشده و نمونه‌های آلیس شده را نشان می‌دهد.

شکل ۳ نمودار ستونی فراوانی بر حسب اندازه‌ی نانوذرات طلا را نشان می‌دهد. از این شکل مشاهده می‌شود که بیشترین فراوانی نانوذرات در گستره‌ی ۶۰-۸۰ نانو و متوسط اندازه‌ی آن‌ها ۷۰ نانومتر است.

شکل ۴ الگوهای پراش نمونه‌ها با مقادیر متفاوت نانوذرات طلا را نشان می‌دهد. با استفاده از الگوهای پراش، درصد فازهای موجود در هر نمونه با رابطه‌های ۳ برآورد شد [۲۶].

$$Bi-2224(\%) = \frac{\sum I(Bi-2224)}{A} \times 100$$

$$Bi-2223(\%) = \frac{\sum I(Bi-2223)}{A} \times 100$$

$$Bi-2212(\%) = \frac{\sum I(Bi-2212)}{A} \times 100$$

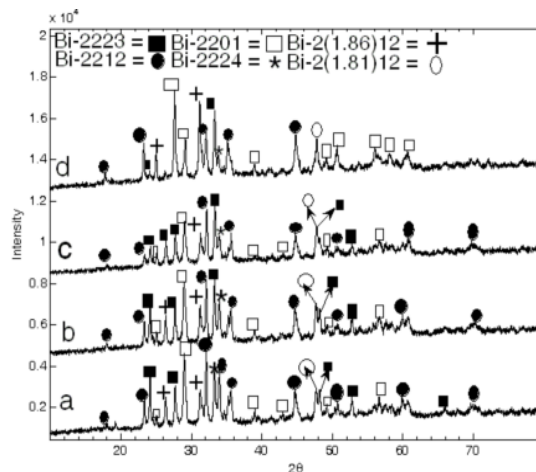
$$Bi-2201(\%) = \frac{\sum I(Bi-2201)}{A} \times 100 \quad (3)$$

$$Bi-2(1.86)12(\%) = \frac{\sum I(Bi-2(1.86)12)}{A} \times 100$$

$$Bi-2(1.81)12(\%) = \frac{\sum I(Bi-2(1.81)12)}{A} \times 100$$

با این فرض که

$$A = \sum I(Bi-2224) + \sum I(Bi-2223) + \sum I(Bi-2212) +$$



شکل ۴ الگوی پراش نمونه‌ها با مقدار نانوذرات طلا a (۰٫۰٪)، b (۰٫۵٪)، c (۱٪) و d (۲٪) با زمان پخت ۷۲ ساعت.

جدول ۱ فازهای موجود در نمونه‌های آلیش داده شده با نانوذرات طلا با زمان پخت ۷۲ ساعت.

نمونه	a	b	c	d
درصد	۰٫۰	۰٫۵	۱	۲
Bi-۲۲۲۳	۲۱٫۲۷	۲۷٫۹۸	۳۴٫۰۱	۱۱٫۷۸
Bi-۲۲۱۲	۳۸٫۷۵	۳۱٫۸۶	۲۳٫۰۲	۲۴٫۴۵
Bi-۲۲۰۱	۲۰٫۷۱	۱۸٫۹۰	۲۲٫۱۴	۳۹٫۶۷
Bi-۲۱٫۸۶۱۲	۸٫۳۶	۹٫۶۲	۶٫۹۷	۱۴٫۸۸
Bi-۲۱٫۸۱۱۲	۴٫۳۴	۵٫۷۸	۷٫۷۳	۵٫۶۷

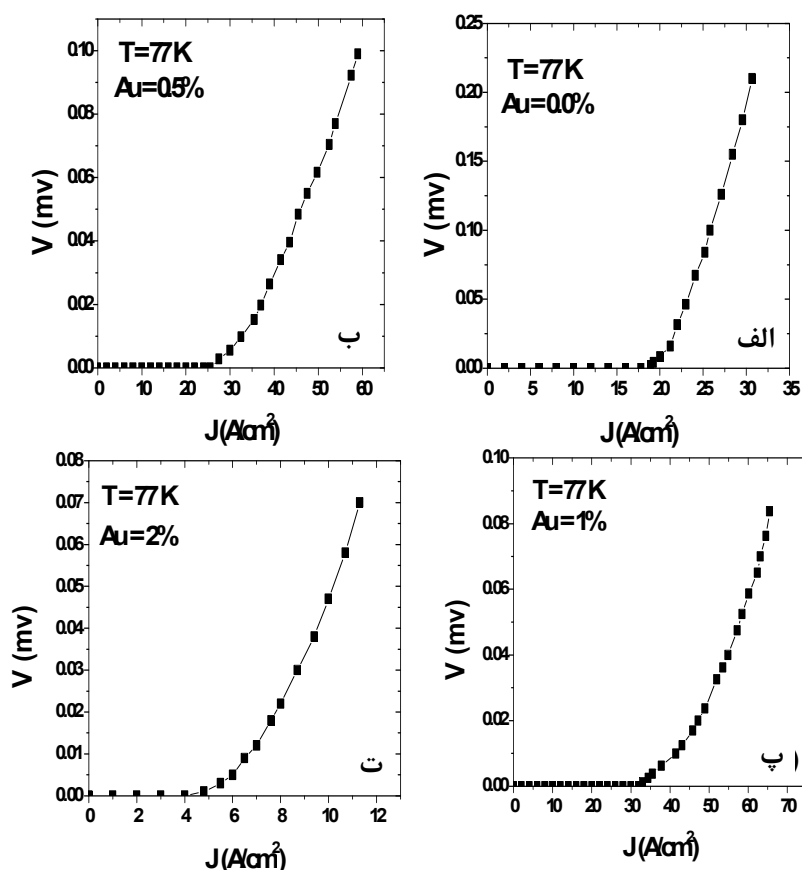
جدول ۲ ثابت‌های شبکه‌ی نمونه آلیش نشده و نمونه‌های آلیش شده با نانوذرات طلا.

درصد نانوذرات طلا	a (Å)	b (Å)	c (Å)
۰٫۰	۵٫۴۱	۵٫۴۲	۳۷٫۱۶
۰٫۵	۵٫۴۳	۵٫۴۰	۳۷٫۱۵
۱	۵٫۴۴	۵٫۴۶	۳۷٫۱۸
۲	۵٫۴۵	۵٫۴۴	۳۷٫۱۹

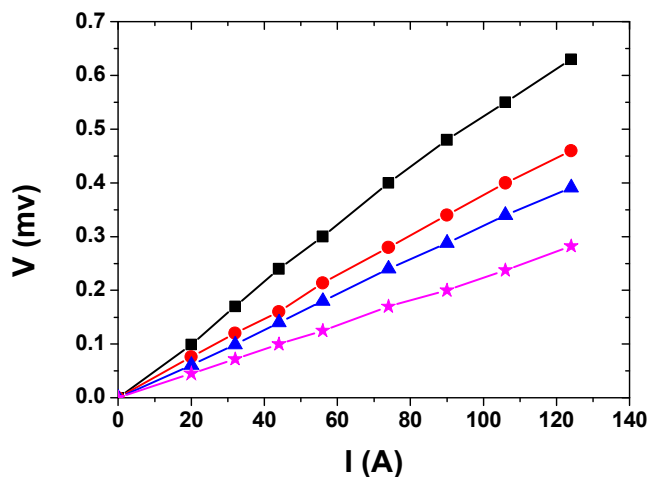
Bi-۲۲۲۳ را پایدار می‌کنند، بلکه باعث بهبود پیوند بین دانه‌ای نیز می‌شوند.

شکل ۶ نمودارهای V-I مقادیر مختلف نانوذرات طلا با زمان پخت ۷۲ ساعت در دمای اتاق را نشان می‌دهد. از داده‌های حاصل نتیجه گرفته شد که بیشترین و کمترین مقاومت نمونه‌ها در دمای اتاق به ترتیب به نمونه‌هایی با مقدار نانوذرات طلا ۰٫۰٪ و ۲٪ وابسته است. از شکل ۶ نیز نتیجه می‌شود که با افزایش مقدار نانوذرات طلا، مقاومت نمونه‌ها در دمای اتاق کاهش یافته است. علت کاهش مقاومت نمونه‌ها در دمای اتاق با افزایش درصد نانوذرات طلا، مربوط به رسانندگی بالای طلاست. نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقاومت نمونه‌ها در دمای اتاق در جدول ۳ نشان داده شده‌اند.

شکل ۵ الف-ت نمودارهای V-J برای مقادیر مختلف نانوذرات طلا با زمان پخت ۷۲ ساعت را نشان می‌دهد. از داده‌های آزمایش نتیجه گرفته شد که بیشترین و کمترین چگالی جریان بحرانی به ترتیب مربوط به نمونه‌هایی با مقدار نانوذرات طلا ۱٪ و ۲٪ است. از شکل ۵ نتیجه می‌شود که با افزایش مقدار نانوذرات طلا، چگالی جریان بحرانی افزایش می‌یابد، بنابراین چگالی جریان بحرانی برای نمونه با ۱٪ نانوذرات طلا با زمان پخت حدود ۷۲ ساعت نسبت به نمونه‌های آلیش داده شده‌ی دیگر بیشتر است. برای نمونه‌ی با ۲٪ نانوذرات طلا، فازهای ثانویه از قبیل Bi-۲۲۱۲ و Bi-۲۲۰۱ افزایش می‌یابد. فازهای ثانویه نقش پیوندگاه‌های ضعیف را بازی می‌کنند و چگالی جریان بحرانی را کاهش می‌دهند. نه تنها نانوذرات طلا، فاز



شکل ۵ نمودارهای V-J برای مقادیر متفاوت نانوذرات طلا (الف، ۰٫۵٪، ب، ۰٫۵٪، پ) و ۲٪ (ت) با زمان پخت ۷۲ ساعت.



شکل ۶ نمودار V-I برای نمونه‌های آلیش داده شده در دمای اتاق با مقادیر مختلف نانوذرات طلا (■) ۰٫۵٪، (●) ۰٫۵٪، (▲) ۱٪ و (★) ۲٪ با زمان پخت ۷۲ ساعت.

جدول ۳ پارامترهای فیزیکی ابررسانای  $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_4O_y$  آلیش داده شده با نانوذرات طلا.

درصد نانوذرات طلا	$J_{co}$ (A/cm <sup>2</sup> )	$J_c$ (A/cm <sup>2</sup> )	$R$ ( $\Omega$ )	$\beta$	$U(J) \times 10^{-21}$
۰٫۰	۱۷٫۸۰	۲۲٫۵۵	$5.88 \times 10^{-3}$	۱۱٫۹۶	۱۲٫۷۱
۰٫۵	۲۵٫۵۶	۳۵٫۲۶	$4.31 \times 10^{-3}$	۱۸٫۸۵	۲۰٫۰۳
۱	۳۲٫۲۴	۵۲٫۲۸	$3.56 \times 10^{-3}$	۲۳٫۲۱	۲۴٫۶۶
۲	۴۲٫۱	۷٫۶۲	$2.44 \times 10^{-3}$	۶٫۳۲	۶٫۷۲

با توجه به تعریف جریان بحرانی داریم:

$$J_c = \frac{F}{\phi_0} \quad (4)$$

که در آن  $F$  نیروی وارده بر شار فلاکسون ( $\phi_0$ ) است. بررسی منحنی‌های چگالی جریان بحرانی نشان می‌دهند که منحنی‌ها در ناحیه‌ی بین  $J_c$  و  $J_{co}$  (شکل ۷) از مدل توانی زیر پیروی می‌کنند [۲۸، ۲۷].

$$V = \alpha I^\beta \quad (5)$$

در رابطه ۵،  $\alpha$  و  $\beta$  ضرایبی هستند که به دما بستگی دارند. از رابطه ۵ پیداست که منحنی  $\log V - \log I$  در ناحیه‌ی بین  $J_c$  و  $J_{co}$  خطی است. مقادیر  $J_c$  و  $J_{co}$  برای هر نمونه در جدول ۳ نشان داده شده است.

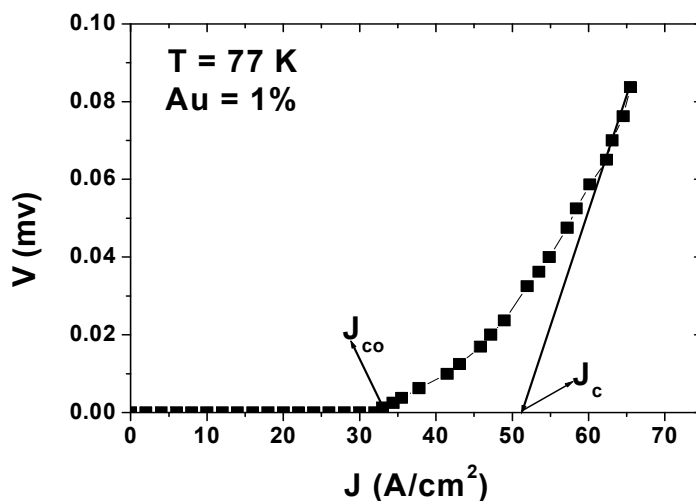
شکل ۸ نمودارهای  $\log V - \log I$  نمونه‌های ساخته شده با مقادیر مختلف نانوذرات طلا در زمان پخت ۷۲ ساعت نشان داده شده است. با محاسبه‌ی شیب نمودارهای  $\log V - \log I$  نشان داده شده در شکل ۸ ضریب  $\beta$  که بنابر رابطه‌ی زیر به انرژی فعال‌سازی فلاکسون وابسته است، محاسبه شد [۲۹].

$$\beta = \frac{U}{kT} \quad (6)$$

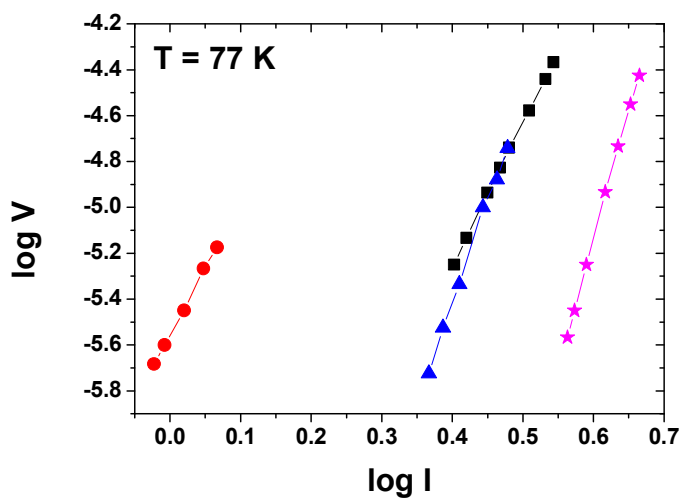
در رابطه‌ی ۶،  $U$  انرژی فعال‌سازی،  $k$  ثابت بولتزمن و  $T$  دمای مطلق است. نتایج حاصل از اندازه‌گیری انرژی فعال‌سازی نمونه‌های آلیش داده شده با نانوذرات طلا در جدول ۳ نشان داده شده است. دلیل افزایش چگالی جریان بحرانی و انرژی فعال‌سازی آن است که چون ابعاد نانوذرات طلا در مقایسه با اندازه‌ی توده‌ی آن خیلی کوچک است، لذا نانوذرات به راحتی می‌توانند به طور یکنواخت در نمونه توزیع شده و مراکز

میخکوبی شار را در مقایسه با حالت توده‌ی آن افزایش دهند که این امر باعث افزایش چگالی جریان بحرانی و انرژی فعال‌سازی می‌شود. با افزایش مقدار نانوذرات طلا فرایندی معکوس روی می‌دهد و درصد حجمی فاز  $Bi - 2223$  به سرعت کاهش می‌یابد. با کاهش فاز  $Bi - 2223$ ، فازهای  $Bi - 2212$ ،  $Bi - 2201$  و  $Bi$  و ناخواسته در نمونه افزایش می‌یابد و این فازها مثل پیوندگاه‌های ضعیف عمل کرده و باعث کاهش چگالی جریان بحرانی و انرژی فعال‌سازی می‌شود.

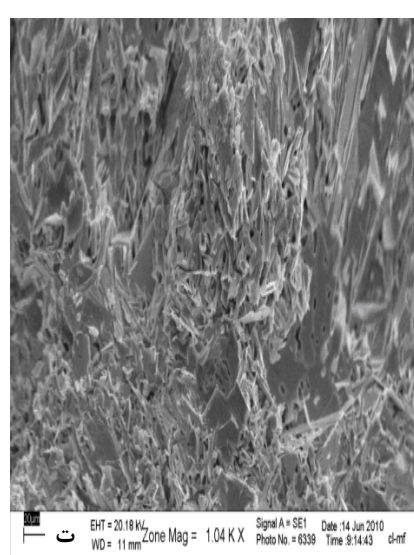
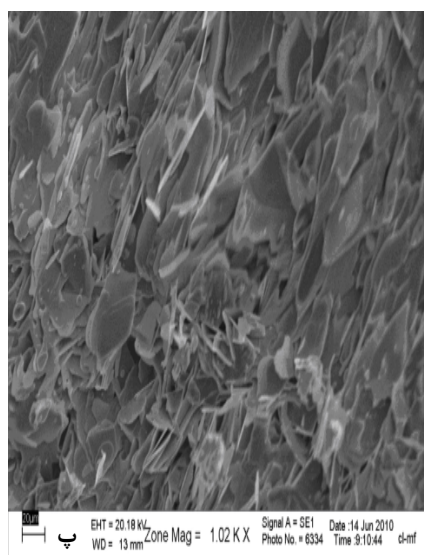
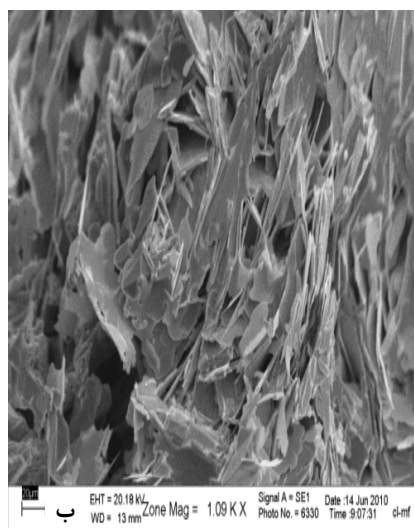
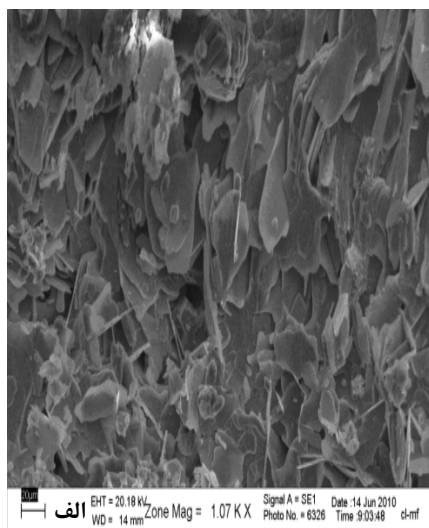
برای بررسی ریزساختار ترکیبات از جمله شکل ظاهری، توزیع، اندازه، میزان جفت‌شدگی و اتصال دانه‌ها و نیز وجود فازهای ناخالصی از میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد و تصاویر بدست آمده مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه دقیق‌تر نمونه‌ها و بررسی تأثیر آلیش نانوذرات طلا بر آن‌ها، تمام نمونه‌ها با بزرگنمایی یکسان بررسی شدند. شکل ۹ الف-ت تصاویر SEM تهیه شده از سطح شکسته شده نمونه‌ها را نمایش می‌دهد. تصاویر SEM نشان می‌دهند که در آلیش نانوذرات طلا در نمونه، ۰.۵٪ پیوندگاه‌ها به صورت ورقه‌ای بوده که این موجب کاهش خلل و فرج نمونه و افزایش چگالی جریان بحرانی می‌شود. در نمونه ۱٪، نمونه با ریخت‌شناسی یکنواخت‌تری شده، سطح نمونه صاف‌تر و چگال‌تر شده و به عبارت دیگر تراکم دانه‌ها افزایش یافته است، این موضوع به افزایش چگالی جریان بحرانی ختم شده است. در نمونه‌ی ۲٪ با افزایش مقدار آلیش، تخلخل‌های بسیاری در نمونه مشاهده می‌شود. این تخلخل‌ها باعث تخریب شارش جریان شده و کاهش چگالی جریان بحرانی را نتیجه می‌دهند.



شکل ۷ نمودار V-J برای نمونه‌ی آلیش داده شده با نانوذرات طلا به مقدار ۱٪ با زمان پخت ۷۲ ساعت.



شکل ۸ نمودار  $\log V$ - $\log I$  برای نمونه‌های آلیش شده با مقادیر مختلف نانوذرات طلا (●) ۰٫۵٪، (▲) ۱٪ و (★) ۲٪ با زمان پخت ۷۲ ساعت.



شکل ۹ الف-ت تصاویر SEM نمونه‌ی ۰٫۱٪ (الف)، ۰٫۵٪ (ب)، ۱٪ (پ) و ۲٪ (ت) با زمان پخت ۷۲ ساعت.



## برداشت

با استفاده از روش چهار میله‌ای، چگالی جریان بحرانی، انرژی فعال‌سازی و مقاومت الکتریکی نمونه‌ها در دمای اتاق نمونه‌های ابررسانای  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  اندازه‌گیری شدند. بررسی نتایج بلورنگاشتی نشان داد که طلا وارد ریزساختار ابررسانا شده است و فاز مستقلی را در ترکیب تشکیل نداده است. به طوری که با آلیش نانوذرات طلا در نمونه‌های ابررسانا، ساختار سلول واحد ترکیب، راستگوش باقی می‌ماند. با محاسبه‌ی درصد فازهای نمونه‌ها مشخص شد که از مهم‌ترین عوامل محدود کننده‌ی چگالی جریان بحرانی، انرژی فعال‌سازی در ابررسانای  $\text{Bi}_{1.6}\text{Pb}_{0.4}\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$  آلاینده به نانوذرات طلا، حضور فازهای  $\text{Bi}-2201$  و  $\text{Bi}-2212$  و فازهای ناخواسته در مرز دانه‌هاست. این فازها نقش پیوندگاه‌های ضعیف را بازی می‌کنند و با افزایش درصد آن‌ها در نمونه، چگالی جریان بحرانی، انرژی فعال‌سازی کاهش می‌یابد. بررسی تصاویر SEM نمونه‌های  $0.5\%$  و  $1\%$ ، کاهش خلل و فرج و پیوندگاه‌های ورقه‌ای و افزایش چگالی جریان بحرانی را نشان می‌دهند. حال آن‌که نمونه‌ی  $2\%$  با ریزتر شدن دانه‌ها و افزایش خلل و فرج در ساختار خود، کاهش محسوس چگالی جریان بحرانی را تجربه کرده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که بیشترین چگالی جریان بحرانی و انرژی فعال‌سازی، به نمونه‌ای با مقدار نانوذرات طلا به میزان  $1\%$  با زمان پخت ۷۲ ساعت وابسته است.

## مراجع

- [۱] رضایی، امیر احسان، "نانو تکنولوژی، تألیف: بوکر، ریچارد و بویسن، اول"، چاپ اول، انتشارات نشر گستر، تهران، ۱۳۷۸ صفحه ۱.
- [2] Basu S., Ghos S. K., Panigrahi S., Pal T., Journal of Colloid and Interface Science 313 (2007) 724.
- [3] Xu P., Han X., Zhang B., Mack N. H., Jeon S. H., Wang H. L., "Synthesis and Characterization of nanostructured Polypyrroles: Morphology dependent electrochemical responses and chemical deposition of Au nanoparticles", Polymer 50 (2009) 2624.
- [4] Moshfegh A. Z., "Nanoparticle catalysts", J. Phys. D:Appl. Phys. 42 (2009) 30.

- [5] Turker M., "Effect of production parameters on the structure and morphology of Ag nanopowders produced by inert gas condensation", Material Science and Engineering A 367 (2004) 7.
- [6] Murry Hill, "Nanotechnology", Grerory, Timp Bell babaratories, (1999) Part 1&2.
- [7] Zeng D. W., Xie C. S., Zhu B. L., Sang W. L., "Characteristics of  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  nanoparticles synthesized from antimony by vapor condensation method", Mater. Lett. 58 (2004) 312.
- [8] Cui Z., Zhang Z., Hao C., Dong L., Meng Z., Yu L., "Structures and properties of nsnoparticles prepared by hydrogen are plasma method", Thin Solid Films 318 (1998) 76.
- [9] Muangnapoh T., Sano N., Yusa S. I., Viriya N., "Facile strategy for stability control of gold nanoparticles by aqueous reduction method current", Applied Physics 10 (2010) 708.
- [10] Yang J., Yang Lee J., Too H. P., "Size sorting of Au and Pt nanoparticles from arbitrary particles size distributions", Analytica Chemica Acta 546 (2005) 133.
- [11] Jasiolek G., Gorecka J., Majewskit G., Yuan S., Jin S., Liang R., "X-ray characterization of Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O ceramic", Supercond. Sci. Technol. 3 (1990) 194.
- [12] Chu C. W., Bechtold J., Gao L., Hor P. H., Xue Y. Y., "Superconductivity up to 114K in the Bi-Al-Ca-Sr-Cu-O compound system without rare-earth elements", Phys. Rev. Lett. 60 (1988) 941.
- [13] Dou S. X., Liu A. J., Bourdillon M., Kviz N. X., Sorrell C. C., "Stability of superconducting phases in Bi-Sr-Ca-Cu-O and the role of Pb doping", Phys. Rev. B 40 (1989) 5266.
- [14] Zargar Shoushtari M., Mousavi Ghahfarokhi S. E., Farbod M., "The Effect of Cd Doping on Bi-Based Superconductor", Journal of Applied Sciences 8, 14 (2008) 2613.
- [15] Sarkar B., Reddy Y.S., Sharma R. G., "Effect of Sb doping on critical current density in Bi (Pb)-Sr-Ca-Cu-O high Tc superconductors", Physica C 219 (1994) 26.
- [16] Zargar Shoushtari M., Bahrami A., Farbod M., "The effect of silver doping on the critical current density of Bi-Pb-Sr-Ca-Cu-O ceramic superconductor", Phys. Stat. Sol. (c), 3 (2006) 2994.

- $Bi_{1.6}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_{2+x}O_y$ ", Physica B 321 (2002) 305.
- [24] Mousavi Ghahfarokhi S. E., Zargar Shoushtari M., Farbod M., "Study of  $Bi_{1.65-x}Pb_{0.35}Sb_xSr_2Ca_2Cu_3O_y$  Superconductor", Journal of Applied Sciences 9, 4 (2009) 783.
- [25] Rayavarapu R., Petersen W., Ungureanu C., Manohar S., "Synthesis and boiconjugation of nsnopsrticles as potential molecular probes for light-based imaging technique", International Journal of Biomedical Imaging 1 (2007) 1.
- [26] Kameli P., Salamati H., Eslami M., "The effect of sintering temperature on the intergranular properties of Bi-2223 superconductor", Solid State Communications 137 (2006) 30.
- [27] Mousavi Ghahfarokhi S. E., Zargar Shoushtari M., "Structural and Physical Properties of Cd-doped  $Bi_{1.64}Pb_{0.36}Sr_2Ca_{2-x}Cd_xCu_3O_y$  superconductor", Physica B 405 (2010) 4643.
- [28] Han G. C., "Voltage-current characteristics in C-axis-oriented  $Bi_{1.8}Pb_{0.4}Sr_2Ca_2Cu_3O/Ag$  tapes", J. Phys. Condens. Matter 7 (1995) 8175.
- [29] Sun J. Z., Eom C. B., Lairson B., Bravman J. C., Geballe T. H., "Magnetic relaxation current-voltage characteris and possible dissipation mechanisms for high- $T_c$ -superconducting thin films of Y-Ba-Cu-O", Phys. Rew B 43 (1991) 3002.
- [17] Mcfarland A. D., Haynes C. L., Mirkin C. A., Van Duyne R. P., Godwin H. A., "Color my nanoworld", Journal of Chemical Education 81 (2004) 544A.
- [18] Hu J., Wang Zh., Li J., "Gold nanoparticles with special shapes: Controlled Synthesis, Surface-enhanced Raman Scattering and the Application in Biodetection", Sensors 7 (2007) 3299.
- [19] Ngoc L. N., Van L., Dinh K. C., Cong D. S., Thinguyet C., Thi H. P., Nguyen D. T., Manh Q. L., "Synthesis and optical properties of colloidal gold nanoparticles", 187 (2009) 1.
- [20] De G., Bhattacharya, "Au nanoparticles in alumina sols and coatings", J. Mater. Chem. 18 (2008) 2824.
- [21] Basu S., Kumar G. S., Kundu S., Panigrahi S., "Biomolecule induced nanoparticles aggregation: Effect of patticles size on interparticle copling", Journal of Colloid an Interface Science 313 (2007) 724.
- [22] Zhang, D., Carr D., Alocilja C. E., "Fluorescent bio-barcode DNA assay for the detection of salmonella enterica serovar enteritidis" Biosensore and Bioelectronic 24 (2009) 1377.
- [23] Zargar Shoushtari M., Kashian M. R., Yazdani H., "Study on the Properties of