

ساخت و مطالعه نانوسیمهای آلیاژی CoCu و NiCu

ایرج کاظمی نژاد*، ندا منزوی زاده** و منصور فرید*

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران

(دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱/۱۴ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۸/۲۹)

چکیده - در این تحقیق نانوسیمهای آلیاژی CoCu و NiCu درون حفره‌های قالب پلی‌کربنات با قطر اسمی ۳۰nm به روش الکتروانباشت تهیه شدند. به منظور رشد نانوسیمهای CoCu و NiCu به ترتیب از دو الکترولیت مجزای حاوی نمکهای Co، Cu و Ni، Cu استفاده شد. برای بررسی رفتار پتانسیودینامیکی الکترولیت‌ها و تعیین ولتاژ بهینه انباشت، منحنی CV مربوط به هر یک از الکترولیت‌ها تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. ساختار نانوسیمها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری مطالعه شد و نتایج نشان داد که نانوسیمهای ایجاد شده دارای ساختار بس‌بلوری، طولهای مختلف و قطر میانگین ۸۰ nm هستند. سپس به منظور کنترل میزان ترکیب شیمیایی محصولات، نانوسیمها تحت ولتاژ انباشت مختلف تهیه شدند. تحلیل EDX نشان داد که به ازای پتانسیلهای انباشت بین ۰/۵ V- تا ۰/۸ V- فقط Cu انباشت شده و درصد وزنی اتمهای Ni و Co همه نمونه‌ها صفر است. از پتانسیل ۰/۸۵ V- علاوه بر انباشت Cu انباشت Co و از پتانسیل ۰/۹ V- علاوه بر انباشت Cu انباشت Ni آغاز می‌شود و به این ترتیب نانوسیمهای آلیاژی CoCu و NiCu با میزان ترکیب شیمیایی متفاوت از هر یک از الکترولیت‌ها حاصل می‌گردند.

واژگان کلیدی: نانوسیم، آلیاژ CoCu و NiCu، الکتروانباشت، پتانسیل انباشت

Synthesis and Characterization of CoCu and NiCu Alloy Nanowires

I. Kazeminezhad, N. Monzavizadeh and M. Farbod

Physics Department, Shahid Chamran University, Ahvaz

Abstract: In this work, NiCu and CoCu alloy nanowires were prepared by electrodeposition within nuclear track-etched polycarbonate membranes with the nominal diameter of 30nm. Electrodeposition was carried out under potentiostatic control with three electrodes. In order to grow CoCu nanowires and NiCu nanowires, an electrolyte containing salts of Co and Cu, and an electrolyte containing the salts of Ni and Cu were used respectively. Then, the potentiodynamic behavior of each electrolyte was investigated by its CV curves, and the optimum potentials for the deposition of Ni, Co and Cu were selected according to these

** - کارشناسی ارشد

* - دانشیار

curves. A TEM microscope was used to study the structure of the nanowires. The results showed that the crystalline growth is polycrystalline and the diameter of the wires is about 80 nm. Apart from that, some nanowires were deposited under different deposition voltages. EDX analysis showed that the atomic weight of Ni and Co in all samples vanishes in the potentials between -0.5V to -0.8V which indicates that pure Cu atoms are deposited at these voltages. Deposition of Ni and Co starts at more negative voltages such as -0.9 and -0.85 V, respectively.

Keywords: Nanowire, CoCu and NiCu alloys, Electrodeposition, Deposition potential.

۱- مقدمه

در سالهای اخیر ساخت و بررسی نانوسیمهای فلزی به دلیل داشتن خواص ساختاری، الکتریکی، مغناطیسی و اپتیکی متفاوت نسبت به حالت کپهای توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است [۱-۴]. روشهای مختلفی برای تولید این نانوسیمها وجود دارد که از میان آنها می توان به روش کندوپاش^۱ [۵] و روآرستی پرتو مولکولی^۲ [۶] اشاره کرد. از طرفی ساخت مواد با استفاده از قالب نیز به عنوان یکی از راههای دستیابی به ساختارهای نانومتری، به ویژه انواع مختلف نانوسیمها شناخته شده است [۷ و ۸]. یکی از بهترین روشهای تولید نانوساختارها توسط قالب، روش الکتروانباشت است. در این روش مشخصات نانوسیمهای ایجاد شده به طور مستقیم به مشخصات قالب از جمله جهت گیری نسبی حفره ها در ماده زمینه، قطر و فراوانی حفره ها و همچنین ناهمواریهای جداره داخلی حفره ها وابسته است [۸ و ۹]. بسته به جنس این قالب و برخی عوامل دیگر مانند شیمی جداره حفره ها، استوانه های انباشت شده در درون حفره ها می توانند توپر (نانوسیم) [۱۰] یا توخالی (نانو لوله) [۱۱] باشند.

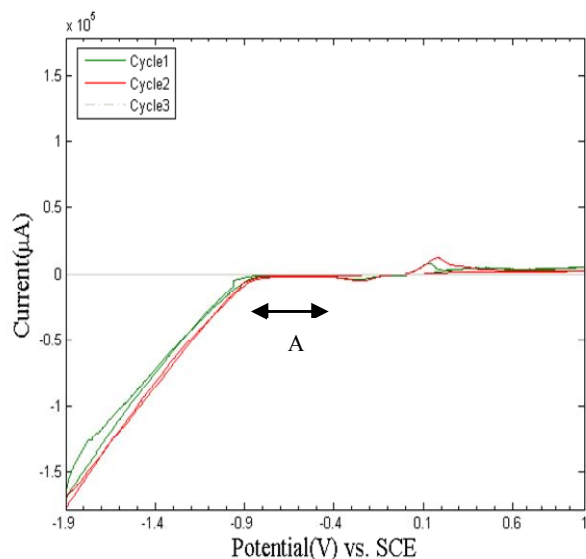
نانوسیمهای آلیاژی مغناطیسی - غیرمغناطیسی مانند نانوسیمهای CoCu و NiCu به دلیل خواص مغناطیسی و ساختاری از اهمیت زیادی برخوردارند [۱۲]. از میان خواص منحصر به فرد این نانوسیمها می توان به اثر GMR^۳ اشاره کرد، که در صنعت ذخیره سازی انبوه اطلاعات و نیز حسگرهای میدان مغناطیسی بسیار حائز اهمیت است [۱۳ و ۱۴]. روش و شرایط رشد تأثیر به سزایی بر ساختار و ترکیب شیمیایی این نانوساختارهای آلیاژی و در نتیجه بر خواص فیزیکی آنها دارند [۱۵]. هدف از انجام این تحقیق ساخت نانوسیمهای

آلیاژی CoCu و NiCu به روش الکتروانباشت درون غشای پلی کربنات در گستره وسیعی از پتانسیلهای انباشت است به طوری که بتوان میزان ترکیب آلیاژ را بر حسب ولتاژ انباشت کالیبره کرد و به عنوان مثال بتوان نانوسیمهای آلیاژی NiCu با میزان ترکیب متفاوت را از یک الکترولیت منفرد و با اعمال پتانسیل انباشت خاصی تولید کرد.

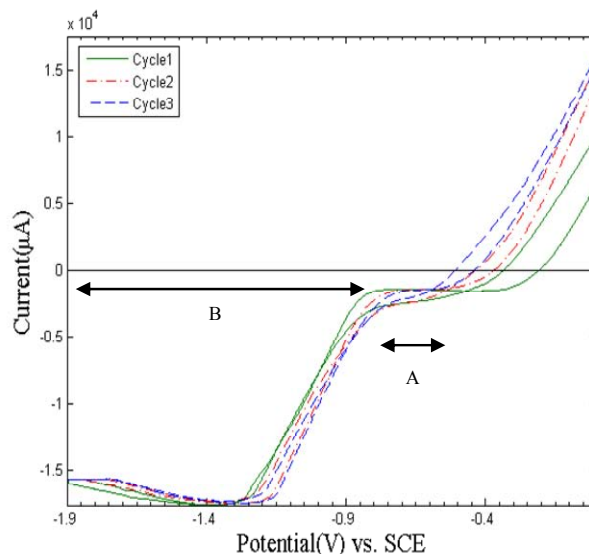
۲- مراحل ساخت

به منظور تهیه نانوسیمهای آلیاژی CoCu و NiCu به روش الکتروانباشت از غشای پلی کربنات حاوی حفره هایی استوانه ای با قطر ۱۳ mm و ضخامت ۶ μm ساخت شرکت Osmonics استفاده شد. این حفره ها با تابش تحت ذرات باردار و پر انرژی به سطح پلی کربنات و سپس سونش^۴ آن در حلال مناسب ایجاد می شوند [۱۶]. در این تحقیق پلی کربناتهای استفاده شده دارای منافذی با قطر اسمی ۳۰ nm و چگالی^۵ $6 \times 10^8 \text{ cm}^{-2}$ بودند. به منظور استفاده از پلی کربنات به عنوان کاتد یک طرف این غشا با لایه ای از طلا به ضخامت ۲۵۰ nm به روش تبخیر در خلاء پوشانده شد. به منظور رشد نانوسیمهای CoCu از الکترولیتی شامل ۹ گرم $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، ۱۱۵ گرم $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ و ۳۰ گرم H_3BO_3 در یک لیتر آب مقطر یون زدایی شده و همچنین به منظور رشد نانوسیمهای NiCu از الکترولیتی شامل ۴/۵۸ گرم $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ، ۲۴۷/۵۳ گرم $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ و ۱۰ گرم H_3BO_3 در ۱/۳ لیتر آب مقطر یون زدایی شده استفاده شد. اسید بوریک موجود در محلول به عنوان بافری برای کنترل pH=۳ به کار رفته است. الکتروانباشت در دمای اتاق و در یک سلول سه الکترودی با استفاده از یک پای پتانسیل متصل به رایانه انجام شده

استقلال، سال ۲۹، شماره ۲، پاییز ۱۳۸۹ (مواد پیشرفته در مهندسی)



شکل ۲- نمودار CV الکترولیت بر پایه نیکل بر زیر لایه طلا با آهنگ روبش 10 mVs^{-1} .



شکل ۱- نمودار CV الکترولیت بر پایه کبالت بر زیر لایه طلا با آهنگ روبش 15 mVs^{-1} .

مقدار ۱V تا $-1.9V$ و آهنگ روبش 10 mVs^{-1} انتخاب شده است. همان طور که مشاهده می شود جریان حالت پایا یعنی ناحیه انباشت Cu (ناحیه A) در بازه $0.5V$ تا $0.85V$ روبش جریان کاتدی تقریباً ثابت می ماند. این نمودار نشان می دهد که انباشت Ni از ولتاژ $0.9V$ - و منفی تر صورت می گیرد. بنابراین با اعمال چنین پتانسیلهایی اتمهای Cu و Ni به طور هم زمان انباشت شده و آلیاژ NiCu تولید می شود.

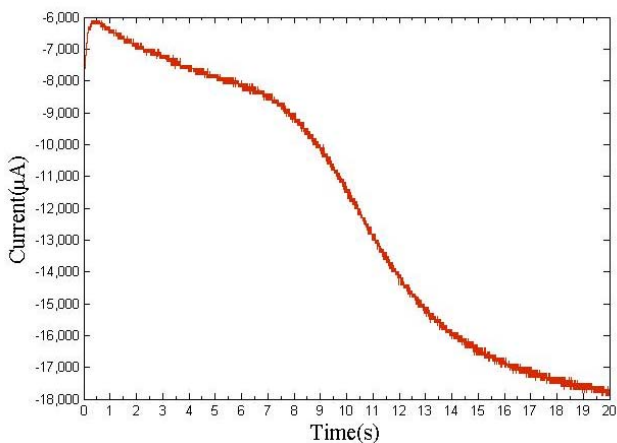
۳- نتایج

شکلهای (۳-الف) و (۳-ب) نمودارهای جریان- زمان نانوسیمهای CoCu را به ترتیب در پتانسیلهای انباشت $1V$ - و $1.4V$ - و (۴-الف) و (۴-ب) نمودارهای جریان- زمان نانوسیمهای NiCu را به ترتیب در پتانسیلهای انباشت $0.9V$ - و $1.3V$ - نشان می دهند. با توجه به نمودارهای فوق می توان تغییرات جریان رشد نانوسیمها را به چهار مرحله تقسیم کرد [۷]. در مرحله اول شروع رسوب دهی با کاهش نسبی مقادیر جریان نشست همراه است. این مرحله مربوط به جوانه زنی نانوسیمها در انتهای حفره های نانومتری است. این حالت به دلیل محدودیت انتقال جرم در مراحل اولیه رخ داده است و

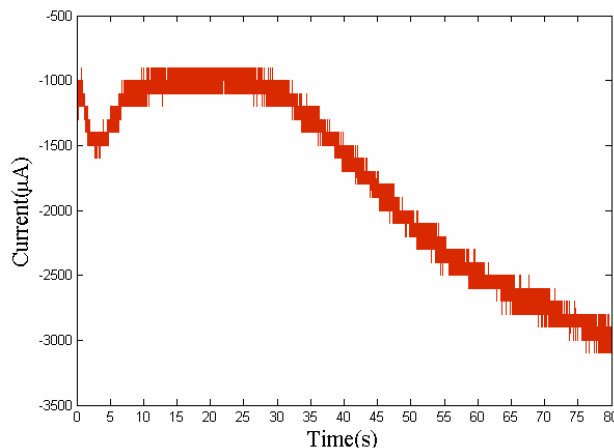
است [۱۷ و ۱۸]. نگهدارنده پلی کربنات در سلول، یک ورقه مربع سونش داده شده مسی به ضلع 2.5 cm است. پلی کربنات از سطح طلای نشانده شده بر آن روی ورقه مسی قرار داده شد و توسط ماسکی به قطر 8 mm پوشانده و از آن به عنوان الکتروکد کار استفاده شد. از الکتروکد جیوه اشباع (SCE) حاوی محلول اشباع KCl به عنوان RE استفاده شد و تمام پتانسیلهای نسبت به آن سنجیده شده است.

شکل (۱) منحنی CV مربوط به الکترولیت حاوی یونهای Cu^{2+} و Co^{2+} بر زیر لایه طلا را نشان می دهد. بازه پتانسیل بین دو مقدار $0V$ تا $-1.9V$ و آهنگ روبش 15 mVs^{-1} انتخاب شده است. همان طور که مشاهده می شود در بازه $0.6V$ - تا $0.8V$ - (ناحیه A) روبش جریان کاتدی تقریباً ثابت می ماند. بنابراین جریان انباشت Cu به صورت پخش محدود است. همان گونه که این نمودار نشان می دهد انباشت Co از ولتاژ $0.85V$ - و منفی تر از آن (ناحیه B) صورت می گیرد. بنابراین با اعمال پتانسیل $0.85V$ - و پتانسیلهای منفی تر از آن، اتمهای Cu و Co به طور هم زمان انباشت شده و آلیاژ CoCu تولید می شود.

شکل (۲) منحنی CV مربوط به الکترولیت حاوی یونهای Cu^{2+} و Ni^{2+} بر زیر لایه طلاست. بازه پتانسیل بین دو

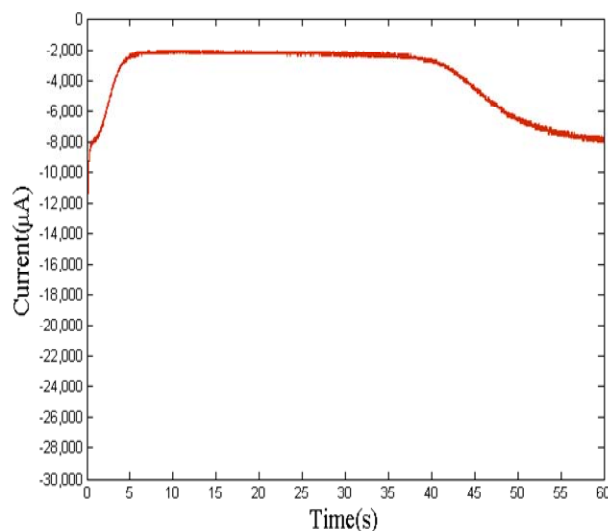
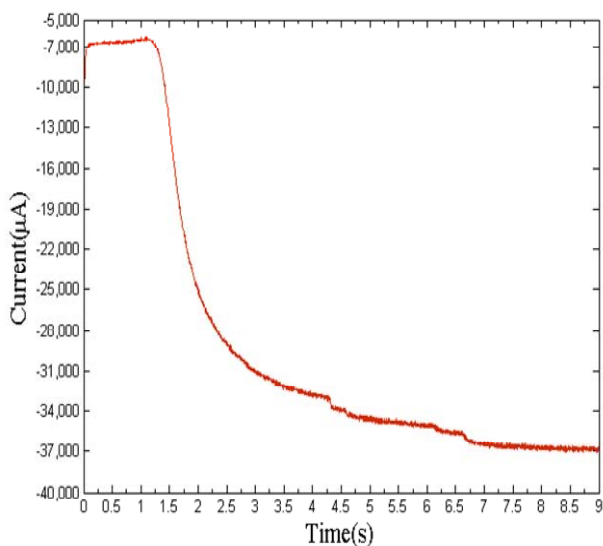


(ب)



(الف)

شکل ۳- نمودار جریان- زمان الکتروانباشت نانوسیمهای آلیاژی CoCu تحت پتانسیلهای الف) $V = -1V$ و ب) $V = -1,4V$.

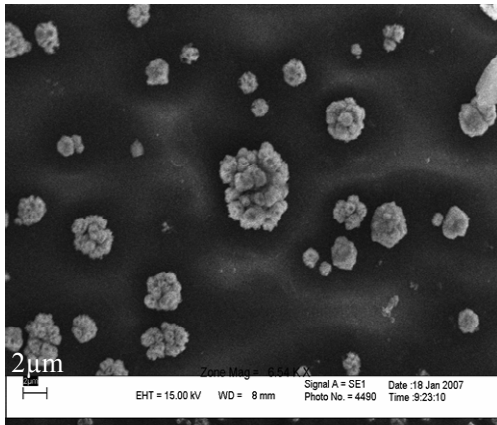


شکل ۴- نمودار جریان- زمان الکتروانباشت نانوسیمهای آلیاژی NiCu تحت پتانسیلهای انباشت الف) $V = -0,9V$ و ب) $V = -1,3V$.

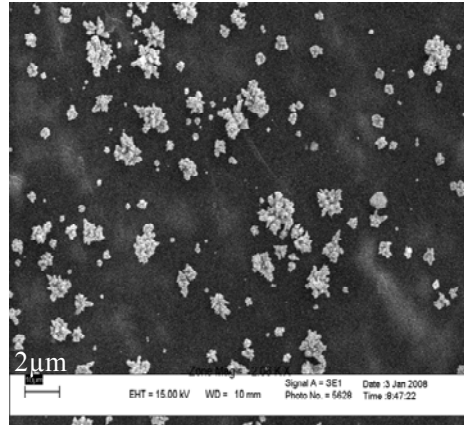
در مرحله چهارم سطح پلی کربنات تا حد زیادی توسط این قارچهای سطحی پوشیده می شود که باعث ثابت ماندن مساحت انباشت و در نتیجه جریان مدار می شود.

همچنین شکلهای (۳) و (۴) نشان می دهند که مدت زمان هر یک از مراحل چهارگانه رشد نانوسیمها با افزایش پتانسیل انباشت کاهش می یابد زیرا سرعت انتقال بار و احیای یونها در الکترولیت با پتانسیل انباشت متناسب است. به منظور اطمینان از رشد نانوسیمها پس از الکتروانباشت

سرعت رسوبدهی الکتروشیمیایی یا به عبارت دیگر جریان نشست کاهش یافته است. در مرحله دوم جریان تقریباً ثابت است که نشان دهنده پر شدن حفرهها و در نتیجه افزایش طول نانوسیمها است. در مرحله سوم، جریان انباشت افزایش ناگهانی از خود نشان می دهد. در این حالت رشد نانوسیمها در قسمتهای بیرونی حفرهها ادامه می یابد و به یکدیگر متصل شده و تشکیل سطوح قارچمانندی را می دهند این امر باعث می شود رفته رفته مساحت انباشت و در نتیجه جریان مدار افزایش یابد.

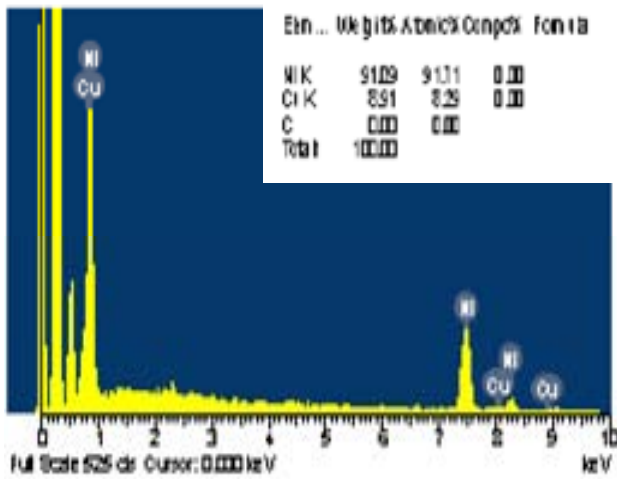


(ب)

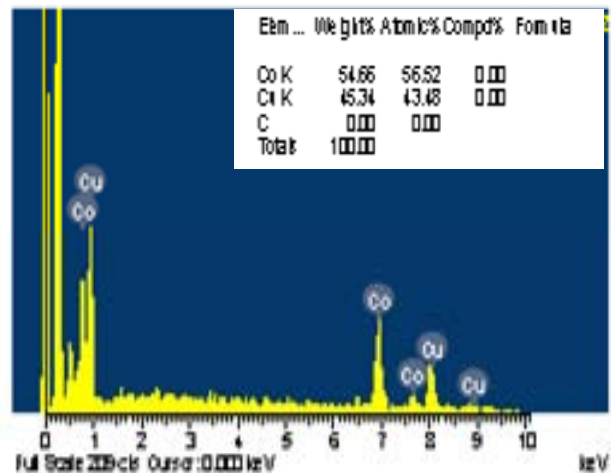


(الف)

شکل ۵- تصاویر SEM از سطح قالب پلی کربنات حاوی نانوسیمهای (الف) CoCu و (ب) NiCu



شکل ۷- طیف EDX نانوسیمهای آلیاژی NiCu تهیه شده تحت ولتاژ ۱/۲۷V.



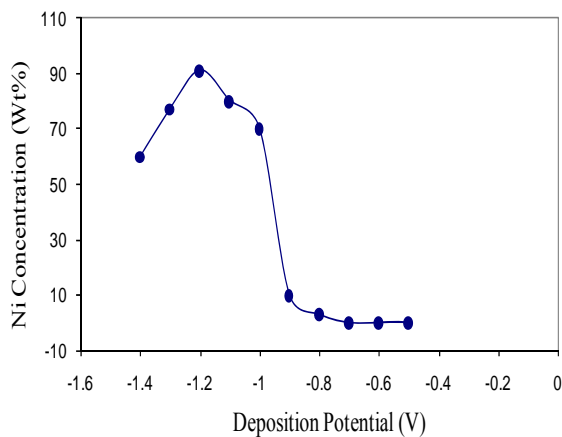
شکل ۶- طیف EDX نانوسیمهای آلیاژی CoCu که تحت ولتاژ ۱/۴۷V تهیه شده‌اند.

طیف EDX یکی از نمونه‌های CoCu را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این نانوسیمها شامل ۵۴/۶۶ درصد وزنی کبالت و ۴۵/۳۴ درصد وزنی مس‌اند. شکل (۷) تحلیل EDX یک نمونه نوعی NiCu را نشان می‌دهد که تحت ولتاژ ۱/۲V تهیه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این نانوسیمها شامل ۹۱/۰۹ درصد نیکل و ۸/۹۱ درصد مس‌اند.

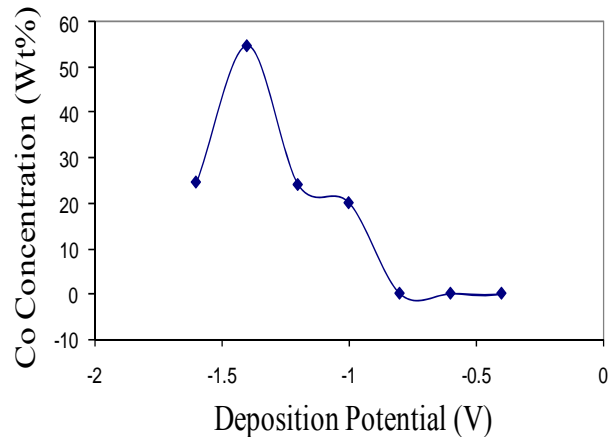
در این تحقیق به منظور کنترل میزان ترکیب شیمیایی هر دو آلیاژ توسط ولتاژ انباشت، مجموعه‌ای از نانوسیمها در الکترولیت پایه Co تحت پتانسیل انباشت متفاوت بین دو مقدار

بخشی از سطح پلی کربنات توسط میکروسکوپ روبشی (SEM) مورد بررسی قرار گرفت. شکل‌های (الف) و (ب) به ترتیب تصاویر SEM از سطح غشاهای پلی کربنات حاوی نانوسیمهای CoCu و NiCu را نشان می‌دهند. در هر دو مورد تصاویر بیانگر تشکیل قارچهای سطحی بر روی غشای پلی-کربنات و تأییدی بر شکل‌گیری مرحله چهارم مکانیزم رشد است.

به منظور شناسایی ترکیب شیمیایی نانوسیمهای ایجاد شده، از تحلیل EDX میکروسکوپ SEM استفاده شده است. شکل



شکل ۹- نمودار تغییرات درصد وزنی Ni نسبت به پتانسیل انباشت نانوسیمهای NiCu.



شکل ۸- نمودار تغییرات درصد وزنی Co نسبت به پتانسیل انباشت نانوسیمهای CoCu.

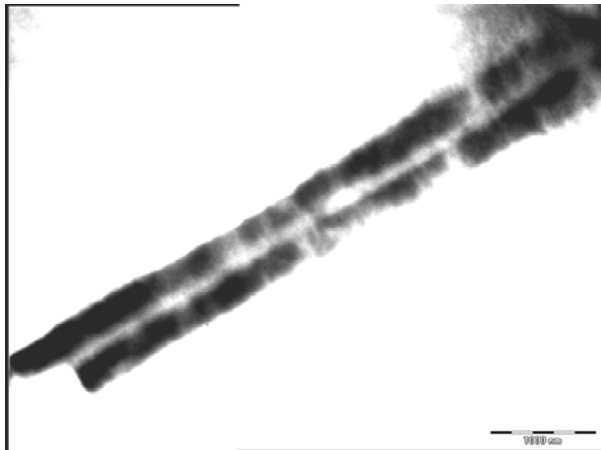
در نمونه‌های تهیه شده تحت پتانسیلهای -0.5 V تا -0.8 V صفر است و در این گستره از پتانسیل، اتمهای مس تقریباً به صورت خالص انباشت می‌شوند. این موضوع نیز با توجه به نتایج حاصل از نمودار CV شکل (۲) مورد انتظار بود، زیرا اتمهای نیکل از پتانسیل -0.9 V شروع به انباشت کرده و در نتیجه آلیاژ NiCu حاصل می‌شود. کاهش میزان Ni در ترکیب به ازای پتانسیلهای انباشت بالاتر از -1.2 V مربوط به ظهور سهم جریان مهاجرت یونهای Cu است.

مطالعه ساختاری نانوسیمهای تولید شده توسط میکروسکوپ TEM انجام گرفته است. به همین منظور قسمتی از پلی‌کربنات حاوی نانوسیمها را جدا کرده و با افزودن مقداری کلروفرم به عنوان حلال، نانوسیمها از غشای پلی‌کربنات جدا شدند. شکلهای (۱۰-الف) و (۱۰-ب) به ترتیب تصاویر TEM نانوسیمهای CuCo و CuNi را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود نانوسیمهای CoCu و NiCu درون غشاهای پلی‌کربنات تشکیل شده‌اند. با استفاده از این تصاویر طول نانوسیمها حدود $5\mu\text{m}$ و متوسط قطر آنها حدود 80nm و نسبت منظر^۸ نانو سیمها برابر ۶۵ تعیین شدند. علت کوتاهتر بودن طول برخی از نانوسیمها شکسته شدن آنها هنگام حل شدن غشای پلی‌کربنات درون کلروفرم به هنگام آماده‌سازی نمونه برای انجام TEM است. اختلاف بین قطر واقعی و قطر

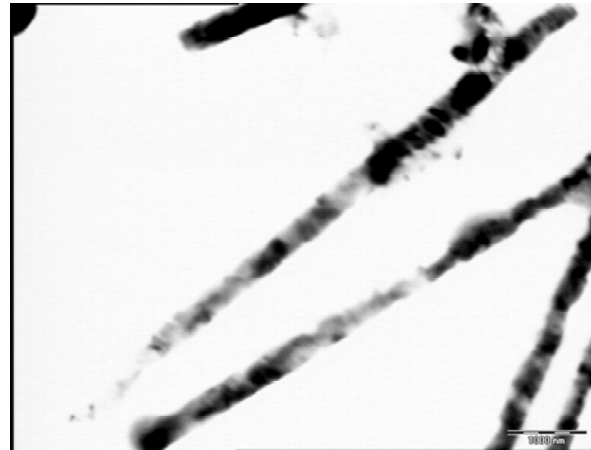
-0.4 V و -1.6 V با فاصله 0.2 V و مجموعه‌ای از نانوسیمها در الکترولیت پایه Ni تحت پتانسیل انباشت متفاوت بین دو مقدار -0.5 V تا -1.4 V با فاصله 0.1 V درون قالب پلی‌کربنات تهیه شدند.

شکل (۸)، نمودار تغییرات میزان کبالت موجود در نانوسیمهای CoCu تهیه شده در پتانسیلهای انباشت متفاوت را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، درصد اتمهای کبالت در نمونه‌های تهیه شده تحت پتانسیلهای -0.5 V تا -0.8 V صفر است و در این گستره از پتانسیل، اتمهای مس تقریباً به صورت خالص انباشت می‌شوند. این موضوع با توجه به نتایج حاصل از نمودار CV شکل (۱) نیز مورد انتظار بود، زیرا اتمهای کبالت از پتانسیل -0.85 V شروع به انباشت می‌کنند. بنابراین از پتانسیل -0.85 V با شروع انباشت کبالت، آلیاژ CoCu تشکیل می‌شود و با افزایش پتانسیل انباشت تا -1.4 V میزان Co در آلیاژ افزایش و پس از آن کاهش می‌یابد. زیرا در پتانسیلهای بالاتر علاوه بر جریان پخش محدود یونهای Cu، سهم جریان مهاجرت^۷ در جریان کل این یونها نقش قابل ملاحظه‌ای را ایفا می‌کند و این باعث حضور نسبی بیشتر اتمهای Cu در ترکیب می‌شود.

شکل (۹)، نمودار تغییرات میزان نیکل موجود در نانوسیمهای NiCu تهیه شده در پتانسیلهای انباشت متفاوت را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار، درصد وزنی اتمهای نیکل

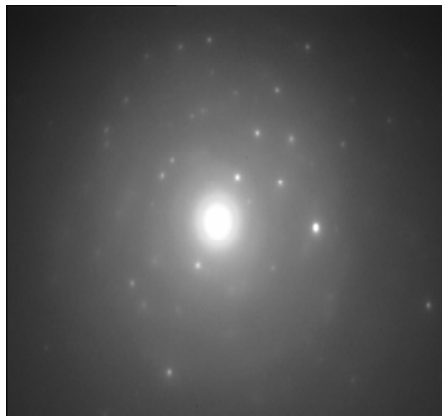


(ب)

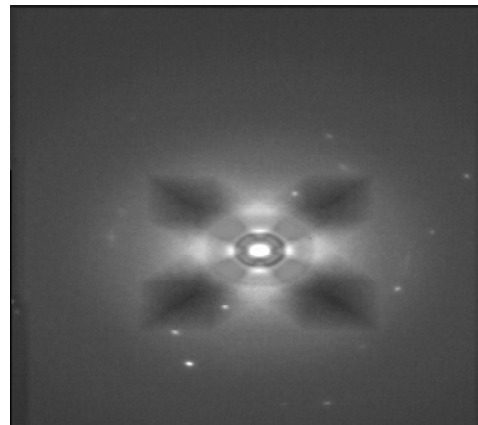


(الف)

شکل ۱۰- تصاویر TEM نانوسیمهای آلیاژی الف) CoCu و ب) NiCu.



(ب)



(الف)

شکل ۱۱- میکروگراف طیف پراش الکترونی نانوسیمهای آلیاژی الف) CoCu و ب) NiCu.

شامل جوانه‌زنی در انتهای حفره‌ها، شروع رشد نانوسیمها درون حفره‌ها، شکل‌گیری نانوسیمها تا رسیدن به سطح غشای و نهایتاً رشد سطحی بر روی غشای و پوشیده شدن سطح پلی‌کربنات توسط آلیاژ را بیان شود. تصاویر میکروسکوپ الکترونی TEM نیز نشان دادند که نانوسیمهای ایجاد شده دارای ساختار بس بلوری و طولهای مختلف هستند. قطر واقعی نانوسیمها به طور میانگین ۸۰ nm تعیین شد. تحلیل EDX نشان داد در نانوسیمهای آلیاژی CoCu میزان کبالت به ازای پتانسیلهای رشد بین ۰/۶ V و ۰/۸۷ V- صفر است و در این گستره از پتانسیل، اتمهای مس به صورت تقریباً خالص انباشت

اسمی نانوسیمها اولین بار توسط شوان‌برگر و همکاران گزارش شده است [۷]. میکروگراف طیفهای پراش الکترونی نانوسیمهای CuCo و CuNi در شکل‌های (الف-۱۱) و (ب-۱۱) نشان می‌دهند که نانوسیمهای ایجاد شده دارای ساختار بس بلوری‌اند.

۴- جمع‌بندی

نانوسیمهای آلیاژی CoCu و NiCu با استفاده از روش الکتروانباشت درون حفره‌های ایجاد شده در غشای پلی‌کربنات تهیه شدند. نمودار جریان- زمان رشد چهار مرحله‌ای نانوسیمها

آغاز شده و آلیاژ NiCu تشکیل می‌شود. این نتایج با مقادیر تعیین شده از نمودارهای CV مطابقت دارد. بیشترین میزان اتمهای نیکل در پتانسیل رشد V $1/2$ - حاصل شد. بنابراین هر یک از نانوسیمهای آلیاژی CoCu و NiCu با میزان ترکیب متفاوت را از یک الکترولیت و با اعمال پتانسیل انباشت خاص با موفقیت تولید شد.

می‌شوند. انباشت کبالت از پتانسیل V $0/85$ - آغاز شده و آلیاژ CoCu تشکیل می‌شود. بیشترین میزان اتمهای کبالت در پتانسیل رشد V $1/4$ - است. همچنین در نانوسیمهای آلیاژی NiCu که میزان نیکل به ازای پتانسیل رشد در بازه V $0/5$ - تا V $0/8$ - صفر است و در این گستره از پتانسیل، اتمهای مس به صورت تقریباً خالص انباشت می‌شوند. انباشت نیکل از پتانسیل V $0/9$ -

واژه نامه

- | | | |
|----------------------------|--------------------------------|----------------------|
| 1. sputtering | 4. etching | 7. migration current |
| 2. molecular beam epitaxy | 5. saturated calomel electrode | 8. aspect ratio |
| 3. giant magnetoresistance | 6. diffusion current | |

مراجع

- Llavona, A., Díaz-Guerra, C., Sánchez, M. C., and Perez, L., "Growth, Structure and Luminescence Properties of Electrodeposited and Post-Oxidized Co Oxide Nanowires," *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 124, Issues 2-3, pp. 1177-1181, 2010.
- Moon, K. J., Choi, J. H., Lee, T. I., Ham, M. H., Maeng, W. J., Hwang, I., Kim, H., and Myoung, J. M., "Electrical Transport Properties in Electroless-Etched Si Nanowire Field-Effect Transistors," *Microelectronic Engineering*, Vol. 87, Issue 11, pp. 2407-2410, 2010.
- Song, B., Jian, J.K., Wang, G., Zhang, Z.H., Lei, M., Bao, H.Q., and Chen, X.L., "Synthesis, Optical and Transport Properties of Single-Crystal N-Deficient InN Nanowires," *Physica E*, Vol. 40, pp. 579-584, 2008.
- Thongmee, S., Pang, H. L., Ding, J., and Lin, J. Y., "Fabrication and Magnetic Properties of Metallic Nanowires Via AAO Templates," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 321, pp. 2712-2716, 2009.
- Guo, Y. F., Xue, C. S., Liu, W. J., Sun, H. B., and Cao, Y. P., "Fabrication of GaN Nanowires on Pd-Coated Sapphire Substrates by Magnetron Sputtering Technique," *Materials Characterization*, Vol. 61, Issue 4, pp. 381-385, 2010.
- Hsiao, C. H., Chang, S. J., Wang, S. B., Hung, S. C., Chang, S. P., Li, T. C., Lin, W. J., and Huang, B. R., "MBE Growth of ZnSe Nanowires on Oxidized Silicon Substrate," *Superlattices Microstructures*, Vol. 46, Issue 4, pp. 572-577, 2009.
- Schönenberger, C., Van der Zande, B. M. I., Fokkink, L. G. J., Henny, M., Schmid, C., Krüger, M., Bachtold, A., Huber, R., Birk, H., and Staufner, U., "Template Synthesis of Nanowires in Porous Polycarbonate Membranes: Electrochemistry and Morphology," *Journal of Physical Chemistry B*, Vol. 101, pp. 5497-5505, 1997.
- Fert, A., and Piraux, L., "Magnetic Nanowires," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, Vol. 200, pp. 338-358, 1999.
- Kazeminezhad, I., Barnes, A. C., Holbrey, J. D., Seddon, K. R., and Schwarzacher, W., "Templated Electrodeposition of Silver Nanowires in a Nanoporous Polycarbonate Membrane from a Nonaqueous Ionic Liquid Electrolyte," *Applied Physics A*, Vol. 86, No. 3, pp. 373-375, 2007.
- Mo, D., Liu, J., Yao, H. J., Duan, J. L., Hou, M. D., Suna, Y. M., Chen, Y. F., Xue, Z. H., and Zhang, L., "Preparation and Characterization of CdS Nanotubes and Nanowires by Electrochemical Synthesis in Ion-Track Templates," *Journal of Crystal Growth*, Vol. 310, pp. 612-616, 2008.
- Rohan, J.F., Casey, D.P., Ahern, B.M., Rhen, F.M.F., Roy, S., Fleming, D., Lawrence, S.E., "Coaxial Metal and Magnetic Alloy Nanotubes in Polycarbonate Templates by Electroless Deposition," *Electrochemistry Communications*, Vol. 10, pp. 1419-1422, 2008.
- Mo, G., Cheng, W., Cai, Q., Wang, W., Zhang, K., Xing, X., Chen, Z., Wu, Z., "Structural Change of Ni-Cu Alloy Nanowires with Temperature Studied by *in Situ* X-Ray Absorption Fine Structure Technique," *Materials Chemistry and Physics*, Vol. 121, Issu.1-2, pp. 390-394, 2010.
- Chiriac, H., Moga, A.E., and Urse, M., "Preparation and Magnetic Properties of Electrodeposited Magnetic Nanowires," *Sensors and Actuators A*, Vol. 106, pp. 348-351, 2003.
- Ji, B., Chen, G. W., Tang, S. L., Gu, B. X., Li, Z.,

and Du, Y. W., "Fabrication and Magnetic Properties of Ordered 20 nm Co-Pb Nanowire Arrays," *Solid State Communications*, Vol. 130, pp. 541-545, 2004.

۱۵. کاظمی نژاد، ا.، و ذاکرین، م.، "بررسی اثر تغییر ولتاژ و

ضخامت بر نانوساختار بس‌لایه‌های الکتروانباشت شده Co-

Cu/Cu بر روی زیرلایه Ti،" *مجموعه مقالات اولین*

همایش نانو تکنولوژی منطقه غرب و جنوب غرب، شیراز،

۱۳۸۵.

16. Cornelius, T.W., Apel, P.Yu., Schiedt, B., Trautmann, C., Toimil-Molares, M.E., Karim, S.,

and Neumann, R., "Investigation of nanopore evolution in ion track-etched polycarbonate membranes," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, Vol. 265, pp. 553-557, 2007.

17. Peter, L., Liu, Q.X., Kerner, Z.S., and Bakonyi, I., "Relevance of the Potentiodynamic Method in Parameter Selection for Pulse-Plating of Co-Cu/Cu Multilayers," *Electrochimica Acta*, Vol. 49, pp. 1513-1529, 2004.

18. Kazeminezhad, I., and Schwarzacher, W., "Ultra Fast Pulse-Plating of Ni_xCu_{1-x} alloy Nanowires," *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 26, pp. 256-259, 2006.