بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده: فیزیک

گروه: فیزیک ماده چگال

عنوان:

رشد و مشخصه یابی لایه های Ni و Ni-Co-Cu

نگارش:

مجید باقرزاده

اساتید راهنما:

دکتر محمدابراهیم قاضی

دکتر مرتضی ایزدی فرد

استاد مشاور:

دکتر اسماعیل عبدلی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تیر ۱۳۸۹

پیوست ۲

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده :فیزیک

پایان نامه ارشد آقای مجید باقرزاده

تحت عنوان:

رشد و مشخصه یابی لایه های Ni و Ni-Co-Cu

در تاریخ ۸۹/۴/۳۱ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با

درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی: دکتر مرتضی ایزدی فرد		نام و نام خانوادگی:	
نام و نام خانوادگی: محمد ابراهیم فاضلی		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی: دکتر رشید ولی		نام و نام خانوادگی : دکتر حسن توکلی عمران	
نام و نام خانوادگی: دکتر سعید حسامی پیله‌بنه			
نام و نام خانوادگی:			
نام و نام خانوادگی:			

تقدیم به:

همسرم، یگانه خورشید زندگیم

و

پدر و مادرم، چشمه های جوشان زندگیم

تشکر و قدردانی

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

اکنون که در سایه الطاف بی کرانش این مرحله از تحصیل را به پایان می رسانم، بر خود وظیفه می دانم از زحمات بی دریغ استاد فرزانه و ارجمندم جناب آقای **دکتر محمد ابراهیم قاضی** که همواره از شخصیت والای ایشان درسها آموخته ام، صمیمانه تشکر نمایم؛ که موفقیت در این عرصه را مدیون زحمات، حمایتها و پیگیریهای دلسوزانه ایشان می دانم. همچنین از زحمات استاد گرانقدر جناب آقای **دکتر مرتضی ایزدی فرد**، استاد مشاور گرامی جناب آقای **دکتر اسماعیل عبدلی** و جناب آقای **دکتر منصور عرب** به خاطر راهنمائیها و توصیه های ارزشمندشان و نیز میسر ساختن دسترسی اینجانب به آزمایشگاه شیمی تجزیه دانشکده شیمی صمیمانه قدردانی می نمایم.

از زحمات برادرانه جناب آقای **مهندس رضا مسکنی** کارشناس محترم آزمایشگاه رشد بلور که در مراحل آزمایشگاهی این پروژه کمکهای شایانی داشته اند و همچنین آقای **مهندس وحید کلی** کارشناس محترم آزمایشگاه شیمی فیزیک دانشکده شیمی کمال تشکر را دارم.

از همسر بسیار مهربان و صبورم که همواره طی انجام این پروژه، با وجود تمام مشکلات و سختیها موجب دلگرمی من بودند و نیز از پدر و مادر دلسوز و فداکارم به خاطر تمام کمکهای مادی و معنوی بی دریغشان بینهایت سپاسگزارم. در پایان از دوست عزیزم آقای **روح الله حفیظی** و تمامی دوستان بسیار خوبم که خاطراتی شیرین و به یاد ماندنی را در دفتر خاطرات زندگی ام به جای گذاشتند صمیمانه تشکر می نمایم.

تعهدنامه

اینجانب **مجید باقرزاده** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد **فیزیک- ماده چگال** دانشکده **فیزیک** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **رشد و مشخصه یابی لایه های Ni و Ni-Co-Cu** تحت راهنمائی **دکتر محمد ابراهیم قاضی** و **دکتر مرتضی ایزدی فرد** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب درج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « **Shahrood University of Technology** » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در بدست آمدن نتایج اصلی پایا ن نامه تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ:
امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

الکتروانباشت یکی از روشهای ساده ولی در عین حال پرکاربرد و قوی در زمینه رشد لایه های نازک فلزی است. با استفاده از این روش لایه های نازک Ni و Ni-Co-Cu از محلول های سولفاتی- سیتراتی تهیه گردیدند. به منظور بررسی رفتار پتانسیودینامیکی الکترولیت، منحنی CV مربوط به آنها تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. سپس با انتخاب ولتاژهای مناسب از روی این منحنی ها، عملیات لایه گذاری انجام گرفت. لایه ها تحت شرایط مختلف مانند تغییر زیرلایه- یک بار بر زیرلایه مس با جهت ترجیحی (۲۰۰) و بار دیگر بر روی زیرلایه سیلیکون با جهت (۱۱۱)- تغییر ولتاژ انباشت و تغییر دمای الکترولیت انباشت شدند.

طیف های حاصل از پراش پرتو X تشکیل یک ساختار fcc را برای کلیه لایه ها و برای هر دو زیرلایه نشان دادند. برای لایه Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه مس مشاهده گردید که با افزایش ولتاژ انباشت تا ۱٫۱ V- ولت و کاهش میزان غلظت مس تا $0.003\ mol.dm^{-3}$ در الکترولیت، ساختار لایه از شکل آلیاژی خود خارج شده، به سمت تشکیل خوشه های کبالت پیش می رود. این پدیده در مورد زیرلایه سیلیکون صادق نبود. نتایج حاصل از طیف پراش پرتو X لایه Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه سیلیکون که در الکترولیت با دماهای ۴۵ c°، ۵۵ c° و ۶۵ c° تهیه شده بود نشان داد که افزایش دما منجر به افزایش اندازه دانه ها و همچنین کاهش درصد مس در آلیاژ می شود. با افزایش دما از ۴۵ c° تا ۶۵ c° میزان درصد مس در آلیاژ از ٪۴۸ به ٪۴۲ کاهش یافت.

مورفولوژی سطح لایه ها با استفاده از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) بررسی گردید. اثراتی از شکستگی در سطح تک لایه نیکل رشدیافته بر سطح سیلیکون مشاهده شد در صورتی که لایه رشدیافته بر سطح مس از همواری بیشتری برخوردار بود. سطح لایه Ni-Co-Cu رشد یافته بر زیرلایه سیلیکون در دمای ۶۵ c° به نسبت لایه های رشدیافته در دماهای پایین تر هموارتر، همچنین دارای دانه های بزرگتری بود.

منحنی های CHA لایه Ni-Co-Cu نشان داد که در شرایط عدم به هم خوردگی محلول در ولتاژ V ۰٫۸۵۰- تنها گونه مس رسوب می کند. در شرایط به هم خوردگی محلول، منحنی های CHA چگالی جریان شبه ایستایی را پس از افزایش جریان در قله ها نشان دادند.

نتایج مطالعه مغناطیسی لایه ها به وسیله دستگاه مغناطش سنج گرادیان نیروی متناوب (AGFM) حاکی از این بود که بیشترین مقدار مغناطش اندازه گیری شده برای لایه مغناطیسی Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه سیلیکون مربوط به دمای c ۶۵° است.

کلید واژه: الکتروانباشت، پراش پرتو X (XRD) ، ولتامتری چرخه ای (CV)، آلیاژ Ni-Co-Cu، AGFM، لایه نازک Ni، کرونوآمپرومتری (CHA)

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

1- Majid Bagherzadeh, Ruholla Hafizi, Mohammad Ebrahim Ghazi, Morteza Izadifard, " Kinetic study of electrodeposition of Ni-Co-Cu alloy on Si ", *Iranian Seminar of Analytical Chemistry 17th*, Kashan University (September 12-September 14, 2010).

2- M. Baqerzadeh, M.E. Ghazi, M. Izadifard, " Effect of electrolyte temperature on the magnetic properties of nanocrystalline Ni-Co-Cu alloy on Si substrate by electrodeposition ", *International Conference on Nanoscale Magnetism (ICNM)*, Turkey (September 28 – October 2, 2010).

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول - پیش گفتار

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- هدف از انجام این پروژه ۳

فصل دوم- الکتروانباشت و عوامل مؤثر بر آن

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- لایه نازک ۸

۲-۳- زیرلایه ۹

۲-۴- خواص زیرلایه ها ۹

۲-۴-۱- خواص سطحی ۹

۲-۴-۲- خواص حرارتی ۹

۲-۴-۳- خواص شیمیایی ۱۰

۲-۴-۴- خواص مکانیکی ۱۰

۲-۴-۵- خواص حالت جامدی ۱۰

۲-۵- عوامل مؤثر بر خواص حالت جامدی ۱۰

۲-۵-۱- روآراستی ۱۰

۲-۵-۲- مد رشد ۱۱

۲-۵-۳- معیار ترمودینامیکی مد رشد ۱۳

۲-۵-۴- انرژی ناشی از کشش و رشد لایه به لایه به اضافه جزیره ۱۴
۲-۶- الکتروانباشت ۱۶
۲-۶-۱- الکترولیت ۱۷
۲-۶-۲- انواع الکترودها ۱۷
۲-۷- فاکتورهای مؤثر بر الکتروانباشت ۱۹
۲-۸- سینماتیک حاکم بر الکتروانباشت ۲۱
۲-۸-۱- مکانیسم انتقال جرم ۲۱
۲-۸-۱- الف- فرآیند پخش ۲۲
۲-۸-۱- ب- فرآیند مهاجرت ۲۲
۲-۸-۱- ج- فرآیند همرفت ۲۳
۲-۸-۲- نظریه جنبشی انتقال بار ۲۳
۲-۸-۲- الف- بررسی یک واکنش الکتروشیمیایی ۲۴
۲-۸-۲- ب- جریان کاتدی یا انتقال الکترون از کاتد به یونها ۲۴
۲-۹- تبلور الکتروشیمیایی ۲۷
۲-۱۰- الکتروانباشت بس لایه ها و ابر شبکه های فلزی ۲۹
۲-۱۰-۱- الکتروانباشت یک تک فلز ۳۰
۲-۱۰-۲- الکتروانباشت بس لایه ها ۳۱
بحث و نتیجه گیری ۳۵

فصل سوم- مغناطیس

۳-۱- مقدمه ۳۷
۳-۲- مواد مغناطیسی و انواع آن ۳۷

۳-۲-۱- پارامغناطیس ۳۸
۳-۲-۲- دیامغناطیس ۳۸
۳-۲-۳- فرومغناطیس ۳۹
۳-۲-۴- پاد فرومغناطیس ۴۰
۳-۲-۵- فری مغناطیس ۴۰
۳-۳- ساختار حوزه ای ۴۱
۳-۳-۱- دیواره‌های حوزه (دیواره بلوخ) ۴۱
۳-۳-۲- دیواره نیل ۴۲
۳-۴- مغناطش ذرات ریز ۴۲
۳-۵- وادارندگی مغناطیسی و مغناطش پسماند ۴۳
۳-۶- ناهمسانگردی مغناطیسی ۴۵
۳-۶-۱- ناهمسانگردی کریستالی ۴۵
۳-۶-۲- ناهمسانگردی شکلی ۴۶
۳-۶-۳- ناهمسانگردی تنشی ۴۸
۳-۷- سیستمهای آنالیز لایه های نازک مغناطیسی ۴۸
۳-۷-۱- مغناطوسنج گرادیان نیروی متناوب (AGFM) ۴۸
۳-۷-۲- میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) ۵۰
۳-۸-۳- پراش پرتو ایکس (XRD) ۵۲
۳-۸-۳- الف- طیف پراش پرتو X ۵۲
۳-۸-۳- ب- اندازه دانه های بلوری ۵۴
بحث و نتیجه گیری ۵۵

فصل چهارم- الکتروانباشت لایه های Ni و Ni-Co-Cu

۴-۱- مقدمه ۵۷

۴-۲- الکترولیت ۵۸

۴-۳- سلول الکتروشیمیایی ۵۹

۴-۴- آماده سازی زیرلایه مس ۶۰

۴-۴-۱- سونش مکانیکی ۶۰

۴-۴-۲- عملیات ماسک زنی ۶۰

۴-۴-۳- سونش الکتروشیمیایی ۶۱

۴-۵- آماده سازی زیرلایه سیلیکون ۶۲

۴-۵-۱- سونش شیمیایی ۶۳

۴-۵-۲- عملیات ماسک زنی ۶۳

۴-۶- روشهای پتانسیومتری ۶۴

۴-۶-۱- ولتامتری چرخه ای (CV) ۶۴

۴-۶-۲- کرونوآمپرومتری (CHA) ۶۶

۴-۶-۳- کرونوکولومتری (CHC) ۶۷

۴-۷- مکانیسم الکتروانباشت روی سطح سیلیکون ۶۹

۴-۸- منحنی های CV زیرلایه های Cu و Si ۷۲

۴-۸-۱- منحنیCV مربوط به زیرلایه Cu ۷۲

۴-۸-۲- منحنی CV مربوط به زیرلایه Si ۷۴

۴-۹- الکتروانباشت تک لایه Ni و لایه آلیاژی Ni-Co-Cu ۷۶

بحث و نتیجه گیری ۷۹

فصل پنجم- مطالعه نانولایه های Ni و Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه های Cu و Si

۵-۱- مقدمه ۸۱

۵-۲- پارامترهای ساختاری زیرلایه های Cu و Si جهت الکترونباشت نانولایه های Ni و Ni-Co-Cu ...۸۱

۵-۳- بررسی نانولایه نازک Ni بر زیرلایه های Si و Cu ۸۲

۵-۴- بررسی نانولایه Ni-Co-Cu بر زیرلایه های Cu و Si ۸۶

۵-۵- بررسی اثر تغییر ولتاژ انباشت بر مکانیسم رشد و هسته بندی نانولایه Ni-Co-Cu بر زیرلایه Si ۹۱

۵-۶- بررسی اثر تغییر دمای الکترولیت بر نانولایه Ni-Co-Cu بر زیرلایه Si ۹۳

۵-۷- بررسی اثر تغییر دمای الکترولیت بر اندازه گیریهای مغناطیسی نانولایه Ni-Co-Cu بر زیرلایه Si.... ۹۸

بحث و نتیجه گیری ۱۰۳

مراجع ۱۰۵

فهرست شکل ها

شکل **صفحه**

شکل (۲-۱): ساختمان زیرلایه و لایه نازک نسبت به یکدیگر ۸

شکل (۲-۲): انواع متفاوت رشد لایه های نازک: مورفولوژی یک لایه در حال رشد برای الف) مد لایه به لایه ب) مد لایه به لایه به اضافه جزیره ج) مد جزیره. N تعداد تک لایه هاست ۱۲

شکل (۲-۳): موقعیت زیرلایه و لایه نازک نسبت به هم که در آن σ_s انرژی آزاد سطحی زیرلایه σ_i انرژی آزاد فصل مشترک و σ_f انرژی آزاد سطحی لایه می باشد. ۱۳

شکل (۲-۴): نمایش شماتیک تناسب دو ثابت شبکه با اندکی اختلاف در فصل مشترک ۱۶

شکل (۲-۴): نمای شماتیک الکترود مرجع جیوه اشباع ۱۹

شکل (۲-۵): نمایی از چگونگی رشد بلور در سیستمهای الکتروانباشت ۲۹

شکل (۲-۶): نمای شماتیک یک سیستم الکتروانباشت فلز ۳۰

شکل (۲-۷): نمایی شماتیک از یک بس لایه فلزی شامل فلزات B و A با ضخامتهای متفاوت ۳۲

شکل (۲-۸): طرح شماتیک تغییرات پتانسیل بر حسب زمان برای دو فلز مختلف A و B ۳۳

شکل (۳-۱): الگویی از قرارگیری اسپین‌ها درون مواد پارا و فرومغناطیس و نحوه پاسخ‌دهی به میدان خارجی ۳۹

شکل (۳-۲): تصویر یک ذره به صورت بیضی‌وار ۴۲

شکل (۳-۳): حلقه پسماند (الف) یک ماده مغناطیسی سخت (ب) یک ماده مغناطیسی نرم ۴۴

شکل (۳-۴): منحنی‌های مغناطش تک بلوهای (الف) آهن (ب) نیکل (ج) کبالت. جهت میدان اعمالی نسبت به جهت‌های بلورشناسی برای هر منحنی نشان داده شده است. ۴۵

شکل (۳-۵): نمایی از سیستم AGFM ۴۹

شکل (۳-۶): طرح واره‌ای از میکروسکوپ نیروی اتمی (AFM) ۵۰

شکل (۳-۷): طرحی از یک سیستم پراش پرتو X ۵۳

شکل (۴-۱): نمایی از سلول الکتروشیمیایی، همزن و نحوه قرارگیری الکترودها در آن ۵۹

شکل (۴-۲): زیرلایه ماسک گذاری شده همراه با اتصال الکتریکی ۶۰

شکل (۴-۳): نمای شماتیک سطح مقطع زیرلایه ماسک زده شده ۶۱

شکل (۴-۴): سونش الکتروشیمیایی زیرلایه مس ۶۱

شکل (۴-۵): مدار الکتریکی برای بررسی اهمی بودن تماس آلومینیوم با سیلیکون نوع p ۶۲

شکل (۴-۶): مشخصه جریان- ولتاژ ویفر سیلیکون نوع p با تماس اهمی آلومینیوم ۶۳

شکل (۴-۷): ویفر سیلیکون ماسک گذاری شده همراه با اتصال الکتریکی ۶۴

شکل (۴-۸): منحنی نوعی ولتامتری چرخه ای ۶۵

شکل (۴-۹): منحنی کرونوآمپرومتری لایه نازک Ni رشدیافته بر زیرلایه Si ۶۶

شکل (۴-۱۰): منحنی کرونوکولومتری لایه آلیاژی Ni-Co-Cu به ضخامت ۱ µm رشدیافته بر زیرلایه Cu ۶۸

شکل (۴-۱۱): دیاگرام انرژی بر هم کنش الکترولیت - سیلیکون در طی انباشت فلز روی سطح: (a) سیلیکون نوع n و (b) سیلیکون نوع p ۷۰

شکل (۴-۱۲): منحنی CV مربوط به زیرلایه سیلیکون متخلخل نوع p در محلول ۰/۱ مولار $CuSo_4$: (a) در تاریکی و (b) تحت تابش مستقیم نور ۷۱

شکل (۴-۱۳): منحنی CV مربوط به زیرلایه Cu در محلول بلانک ۷۲

شکل (۴-۱۴): منحنی CV مربوط به زیرلایه Cu در محلول ۴ جدول (۴-۱) ۷۳

شکل (۴- ۱۵- الف): منحنی CV در محلول ۴ جدول (۴-۱) تحت شرایط عدم به هم خوردگی محلول تا پتانسیل کاتدی ۱۰۰۰ mV- برای منحنی a و ۱۳۰۰ mV- برای منحنی b ۷۵

شکل (۴- ۱۵- ب): منحنی CV در محلول ۴ جدول (۴-۱) تحت شرایط به هم خوردگی محلول (ω=100 rpm) تا پتانسیل کاتدی ۱۰۰۰ mV- برای منحنی a و ۱۱۵۰ mV- برای منحنی b ۷۵

شکل (۴-۱۶): نمای سیستم الکتروانباشت مورد استفاده در این پروژه ۷۷

شکل (۵-۱): طیف پراش پرتوی X نانولایه Ni رشدیافته بر زیرلایه: الف) Si ب) Cu ۸۳

شکل (۵-۲): تصاویر AFM از نانولایه Ni رشدیافته بر زیرلایه : الف) Cu ب) Si ۸۵

شکل (۵-۳): ناهمواریهای نانولایه Ni رشدیافته بر سطح زیرلایه : الف) Cu ب) Si ۸۶

شکل (۵-۴): الگوی پراش پرتوی X نانولایه های Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه Cu تهیه شده با: (الف) محلول شماره ۳ و در ولتاژ ۱٫۰۲۵ V- (ب) محلول شماره ۴ و در ولتاژ ۰٫۹۵V- (ج) محلول شماره ۴ و در ولتاژ ۱٫۱ V- ۸۷

شکل (۵-۵): طیف پراش پرتوی X نانولایه Ni-Co-Cu بر زیرلایه Si ۸۹

شکل (۵-۶): منحنی های کرونوآمپرومتری نانولایه های Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه Si مطابق محلول ۴ جدول (۴-۱) بدون هم خوردگی در ولتاژ : الف) ۸۵۰ mV- ب) ۹۵۰ mV- ج) ۹۷۵ mV- د) ۱۰۰۰ mV- ۹۱

شکل (۵-۷): منحنی های کرونوآمپرومتری نانولایه های Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه Si مطابق محلول ۴ جدول(۴-۱) در شرایط هم خوردگی (ω =100 rpm) در ولتاژ : الف)۸۵۰ mV- ب) ۹۵۰ mV- ج) ۹۷۵ mV- د) ۱۰۰۰ mV- ۹۲

شکل (۵-۸): الگوی پراش پرتوی X نانولایه های Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه Si در ولتاژ ۱٫۱V- در الکترولیت با دمای: (الف) ۴۵° c (ب) ۵۵° c (ج) ۶۵° c ۹۴

شکل (۵-۹): تصاویر AFM نانولایه های Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه Si در الکترولیت با دمای: الف) ۴۵° c ب): ۵۵° c ج): ۶۵° c ۹۶

شکل (۵-۱۰): ناهمواریهای نانولایه های Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه Si در الکترولیت با دمای:
الف) c ° ۴۵ ب) c ° ۵۵ ج) c ° ۶۵ ..... ۹۷
شکل (۵-۱۱): حلقه های پسماند نانولایه مغناطیسی Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه Si در
الکترولیت با دمای: الف) c ° ۴۵ ب) c ° ۵۵ ج) c ° ۶۵ ..... ۹۹

فهرست جداول

جدول **صفحه**

جدول (۲-۱): پارامترهای شبکه بر حسب Å برای فلزات واسطه مغناطیسی و فلزاتی که به صورت متداول برای رشد روآراستی به عنوان زیرلایه به کار می روند. ۱۵

جدول (۲-۲): پتانسیل الکترودهای مرجع در حمامهای آبی و دمای ۲۹۸ K ۲۶

جدول (۲-۳): پتانسیل الکترود استاندارد تعدادی از فلزات نسبت SCE و SHE ۲۷

جدول (۳-۱): مغناطش اشباع برای مواد گوناگون ۴۴

جدول (۳-۲): ثابتهای انرژی ناهمسانگردی کریستالی مواد گوناگون ۴۶

جدول (۴-۱): الکترولیت های مورد نیاز برای رشد تک لایه Ni و لایه آلیاژی Ni-Co-Cu ۵۸

جدول (۵-۱): پارامتر f برای نانولایه Ni رشدیافته بر زیرلایه های Si و Cu ۸۲

جدول (۵-۲): محل قله ها، ثابت شبکه، اندازه دانه ها و کشش برای نانولایه Ni رشدیافته بر زیرلایه های Si و Cu ۸۴

جدول (۵-۳): محل قله ها، ثابت شبکه، اندازه دانه و کشش نانولایه های Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه Cu ۸۸

جدول (۵-۴): محل قله ها، ثابت شبکه، اندازه دانه و کشش برای نانولایه های Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه Si ۸۹

جدول (۵-۵): محل قله ها، ثابت شبکه، اندازه دانه و کشش نانولایه های Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه Si در دماهای الکترولیت متفاوت ۹۵

جدول (۵-۶): میزان ترکیبات موجود در آلیاژ Ni-Co-Cu در دماهای الکترولیت مختلف ۹۶

جدول (۵-۷): داده‌های حاصل از حلقه‌های پسماند نانولایه های مغناطیسی Ni-Co-Cu رشدیافته بر زیرلایه Si در الکترولیت با دماهای مختلف ۱۰۰

جدول (۵-۸): مغناطش اشباع اندازه گیری شده و مغناطش اشباع محاسبه شده با رابطه (۵-۱) برای نانولایه های مغناطیسی Ni-Co-Cu در دماهای الکترولیت متفاوت ۱۰۱