



دانشکده: فیزیک گرایش: حالت جامد

تاثیر زیرلایه و ضخامت آن روی خواص لایههای نازک کبالت

دانشجو: رضا رنجبر ديزج

اساتید راهنما: دکتر محمد ابراهیم قاضی دکتر مرتضی ایزدی فرد

استاد مشاور: **دکتر منصور عرب چم جنگلی**

پایان نامه کارشناسی ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد بهمن ماه ۱۳۸۹

بهاي تعبير عظيم وانسانى ثان ازكلمه ايثار وازخود كذمتكي به پاس قلب پای بزرکشان که فریادرس است و سرکر دانی و ترس دینا مثان به شجاعت می کراید به پاس عاطفه سر ثار و کرمای امید نخش وجود شان که در این سردترین روز کاران به تیرین پشتیان است وبهاس محبت بای بی در بغثان که هرکز فروکش نمی کند این مجموعه را به خانواده عزیزم تقدیم می کنم

خير بنويس سر نو شت مر تقدیری مبارک ^{نا} متا هر چه را که تو دیر می خواهی زود نخواهم، الم و هر چه را تو زود می خواهی دیر نخواهم... ا

به مصداق «من لم يشكر المخلوق لم يشكر الخالق» بسى شايسته است

که با درود فراوان خدمت خانواده بسیار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه نوش جام تعیلم و تربیت، فضیلت و انسانیّت آنها بودهام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی ها و مشکلات بوده است، از ایشان تقدیر و تشکر نمایم.

از زحمات بیدریغ اساتید فرهیخته و بزرگوارم در دانشگاه صنعتی شاهرود بخصوص اساتید ارجمندم جناب آقای دکتر قاضی و جناب آقای دکتر ایزدی فرد که با راهنماییهای دلسوزانه خود در پیشبرد این پروژه راهگشای اینجانب بودند و استاد گرامیم جناب آقای دکتر عرب که با مشاورههای خردمندانه یاریگر من در این راه بوده و همیشه با روی گشاده پاسخگوی سوالات بنده بودند کمال تشکر و سپاسگزاری را داشته باشم.

همچنین از تمامی دوستان، هم اتاقیهای عزیزم، همکلاسیهای گرامیم و بچههای دانشکده فیزیک و شیمی که لحظاتی سرشار از صفا و صمیمیت را در کنار خود برایم به یادگار گذاشتند و همیشه اینجانب را مورد لطف و محبت خود قرار داده و به من درس صداقت و مهرورزی آموختند بسیار سپاسگزار باشم.

در پایان از زحمات بیدریغ جناب آقای مسکنی در آزمایشگاه رشد بلور صمیمانه قدردانی میکنم.

تعهدنامه

اینجانب رضا رنجبر دیزج دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته فیزیک حالت جامد دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایاننامه: تاثیر زیرلایه و ضخامت آن روی خواص لایههای نازک کبالت تحت راهنماییهای دکتر محمد ابراهیم قاضی و دکتر مرتضی ایزدی فرد متعهد میشوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت بر خور دار است.
 - در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایاننامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا
 امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود میباشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایاننامه تاثیرگذار بودهاند در مقالات مستخرج از پایاننامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایاننامه، در مواردی که از موجودات زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایاننامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته
 یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

تاريخ

امضای دانشجو

مالكيت نتايج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرمافز ار ها و تجهیز ات 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 پایاننامه بدون ذکر مرجع مجاز نمیباشد.

چکیدہ :

لایههای فرومغناطیسی فلزهایی مانند نیکل، آهن، کبالت و آلیاژهایشان کاربردهای فراوانی در تکنولوژی ساخت حسگرها، هدهای مغناطیسی و سیستمهای ذخیره اطلاعات دارد. در این پایاننامه به مطالعه لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای آلومینیوم، سیلیکون و ITO به روش الكتروانباشت پرداخته شده است. نتايج پراش اشعه X نشان دادكه لايهها داراي ساختار بلوري هگزاگونال با راستای ترجیهی (۰۰۲) هستند. تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای آلومینیومی و سیلیکونی مورد بررسي قرار گرفت و ملاحظه شد که با افزايش دماي الکتروليت، مغناطش اشباع و ميدان وادرندگي برای زیرلایه آلومینیومی افزایش پیدا میکند درحالیکه برای زیرلایههای سیلیکونی با افزایش دمای الكتروليت، مغناطش اشباع نمونهها كاهش مىيابد و مقدار وادارندگى افزايش يافته است. سپس تاثير ضخامت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای آلومینیوم و ITO مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش ضخامت لایهها، مغناطش اشباع و مغناطش باقیمانده برای هر دو زیرلایه روند افزایشی داشته است در حالیکه میدان وادارندگی برای زیرلایههای آلومینیومی کاهش مییابد و برای زیرلایههای ITO تغییر محسوسی نمیکند. بررسی تاثیر پتانسیل انباشت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روى زيرلايه آلومينيومي انجام گرفت. ملاحظه شد كه با افزايش پتانسيل انباشت، سطح نمونهها یکنواختتر شده و یک تقارن هگزاگونال به وضوح در تصاویر SEM دیده می شود. علاوه بر این با افزایش پتانسیل انباشت، ضخامت لایه و مغناطش اشباع افزایش و میدان وادارندگی کاهش می یابد. تاثیر ضخامت زیرلایه آلومینیوم نیز بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایه بررسی گردید. نتایج نشان داد که خواص ساختاری نیز به ضخامت زیرلایه وابسته است و با افزایش ضخامت زیرلایه، مقادیر مغناطش اشباع و ميدان وادارندگی کمی کاهش می يابد.

كلمات كليدى : لايه نازك كبالت، الكتروانباشت، خواص مغناطيسي و خواص ساختارى

لیست مقالات مستخرج از پایاننامه

 ۱- رضا رنجبر دیزج، دکتر محمد ابراهیم قاضی، دکتر مرتضی ایزدی فرد، دکتر منصور عرب چمجنگلی "تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده روی زیرلایه سیلیکون به روش الکتروانباشت" دهمین کنفرانس ماده چگال شیراز (انجمن فیزیک ایران)، سال ۱۳۸۹

فهرست مطالب

فصل اول
مقدمهای بر لایه نشانی به روش الکتروانباشت
۱-۱- مقدمه
۲-۱- تاريخچه
٢-٣- الكتروانباشت
٢-١- مفاهيم اوليه
۱-۵- فاکتورهای مؤثر بر الکتروانباشت۹
۱–۶- مکانیسم انتقال جرم
۱–۶–۱ – فرآیند پخش
۱-۶-۲- فرآیند مهاجرت
۱–۶–۳ فرآیند همرفت
۱-۷- بررسي يک واکنش الکتروشيميايي
۱۴-۸- جریان کاتدی یا انتقال الکترون از کاتد به یونها
۱۹-۹ الکتروانباشت یک تک فلز
۱۰-۱- قانون فارادی و محاسبه ضخامت لایه انباشت شده۱۸
۱۹–۱۱– لایههای نازک چندلایهای فلزی
۱-۱۱-۱ الكتروانباشت تک حمام
۱۹-۱۱-۲ الکتروانباشت توسط دو حمام
۱۲-۱۲- نمودار ولتامتری چرخهای (CV)
۱۳-۱۱- مد کرونوکولومتری (CHC)
فصل دوم
مروری بر کارهای انجام شده
۲۵۲۵
۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده۲۷
۲۳-۲ لایه نازک
۲۴- زيرلايه
۲-۵- خواص زیرلایهها
۲-۵-۱ - خواص سطحی
۲-۵-۲- خواص حرارتی
۲-۵-۲- خواص شیمیایی
۲۵-۵-۴- خواص مکانیکی

۳۵	۲-۵-۵- خواص حالت جامدی
۳۶	۲-۶- روآراستی
۳۶	۲-۲- مد رشد
۳۷	۱-۲-۲ مد رشد Frank-Van der Merwe مد رشد
۳۷	۲-۲-۲ مد رشد Volmer-Weber
۳۷	۲-۲-۲ مد رشد Stranski-Krastanov مد رشد
۳۸	۲-۴-۲- مد رشد Step-Flow
٣٩	۲-۸- خواص مغناطیسی
٣٩	۲-۸-۱ مغناطش
۴۰	۲-۸-۲ دسته بندی مواد از لحاظ مغناطیسی
۴۶	۲–۸–۳ ساختار حوزه
۴۷	۲-۸-۴ دیوارههای حوزه (دیواره بلوخ)
۴۸	۲-۵-۸ دیواره نیل
۴۸	۲-۸-۶- ناهمسانگردی مغناطیسی
	فصل سوم
۵۰	ادوات مشخصه یابی و مروری بر کارهای آزمایشگاهی
۵۱	۳-۱- معرفی ادوات مشخصهیابی نمونهها
۵۱	۲-۱-۱- پراش اشعه ایکس (XRD)
۵۴	۳-۱-۲- مغناطومتر گرادیان نیروی متناوب (AGFM)
۵۶	۳-۱-۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
۵۷	۳-۲- مراحل رشد لایههای مطالعه شده
A.V.	۰۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱۰ ۱

۵۱	۲−۱−۱− پراش اشعه ایکس (XRD)
۵۴ (AGF	۳-۱-۲- مغناطومتر گرادیان نیروی متناوب (M
۵۶	۳-۱-۳- میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)
ΔΥ	۳-۲- مراحل رشد لایههای مطالعه شده
ΔΥ	٣-٢-١ الكتروليت استفادهشده جهت انباشت
۵۹	۳-۲-۲ آمادەسازى زيرلايە
۵۹	۳-۲-۳ آمادهسازی زیرلایه آلومینیوم
۶۳	۳-۲-۴- آمادەسازى زيرلايەي سيليكون
۶۴	۳-۲-۵- آمادەسازى زيرلايەي ITO
فاده از روش تبخیر حرارتی در خلاء	۳-۲-۶- انباشت آلومینیوم بر روی شیشه با است
۶۵	۳-۲-۲ پیکربندی سلول
۶۷	۳-۲-۸- منحنی ولتامری چرخهای
	فصل چهارم
ها	مشخصهیابی لایههای نازک کبالت و تحلیل داده
۸۱	۴–۱– مقدمه

۴-۲- بررسی تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه
آلومينيوم
۸۱۸۱ مقدمه.
۴-۲-۲ شرايط الكتروانباشت
۴-۲-۴- مطالعات ساختاری
۴-۳- بررسی تاثیر ضخامت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیوم۹۲
۴-۳-۱ شرايط الكتروانباشت
۴–۳–۴ مطالعات ساختاری
۴-۴- بررسی تاثیر پتانسیل انباشت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای آلومینیومی
۴-۴-۱ - شرايط الكتروانباشت
۴-۴-۲- مطالعه خواص ساختاری
۴-۵- بررسی تاثیر ضخامت زیرلایه آلومینیوم بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت
۴-۵-۱ شرايط الكتروانباشت
۴–۵–۲- مطالعه ساختاری
۴-۶- بررسی تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای سیلیکونی
۴-۶-۲ - شرايط الكتروانباشت
۴-۶-۲- مطالعات ساختاری
۴-۲- بررسی تاثیر ضخامت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه ITO ۱۱۵
۴-۲-۴ شرايط الكتروانباشت
۴-۷-۴- مطالعه ساختاری
۴-۲-۴ خواص مغناطیسی
۴–۸- نتیجه گیری
مراجع و منابع

فهرست اشكال

λ	شكل ۱-۱:نماى شماتيك الكترود مرجع جيوه اشباع
۱۸	شكل ۲-۱- نماى شماتيك يك سيستم الكتروانباشت
77	شکل ۱-۳- منحنی ولتامتری چرخهای
انباشت شده به روی زیرلایه آلومینیوم در مد CHC ۲۳	شکل ۱-۴- نمودار جریان بر حسب زمان لایه نازک کبالت
ت و بازیخت شده در دماهای مختلف ۲۸	شکل ۲-۱- طرح XRD لایههای نازک کبالت بدون بازپخن
C با اعمال میدان مغناطیسی در دو جهت موازی و عمود به	شکل ۲-۲- حلقههای هیسترزیس برای لایههای نازک ۲
۲۹	سطح لايه
Co/glass و Co/glass و Co/glass	شکل ۲-۳- (a و b) طرح پراش اشعه ایکس لایههای GaAs
۲۰ Co/glass و Co/	شکل a) -۴-۲ (b و b) حلقههای هیسترزیس لایههای GaAs
مت شده به ضخامت Å ۲۰۰ بر روی زیرلایه شیشه و یا بر	شکل ۲-۵- (a) پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباش
، ۲۰۰ کبالت انباشت شده بر روی Ta به صورت بافری با	روی Å (b، دا، ۲۵، ۲۵ و Ta و ۲۵ به صورت بافری (Å(b
۳۱	ضخامتهای متفاوت
ت به یکدیگر۳۳	شکل ۲-۶- شماتیکی از ساختمان زیرلایه ولایه نازک نسبن
) یک لایه در حال رشد برای الف) مد لایه بهلایه ب) لایه	شکل ۲-۷- انواع متفاوت رشد لایههای نازک: مورفولوژی
۳۸	بهلایه به اضافه جزیره ج) مد جزیره. N تعداد تکلایههاست
۴۳	شکل ۲-۸- موازی شدن گشتاورهای مغناطیسی اتمی
ومغناطيس	شکل ۲-۹- نواحی یا حوزههای مغناطیسی در یک ماده فر
الت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیوم در این پروژه . ۴۴	شکل ۲-۱۰-نمودار حلقه پسماند نمونهای از لایه نازک کبا
با فاصله d با فاصله d	شکل ۲-۱- پراکندگی کشسان پرتوی X از صفحات بلوری
۵۳	شکل ۳-۲- نمایی شماتیک از سیستم پراش پرتوی X
- آهنربای اصلی ۳- قطعه پیزوالکتریک ۴- نمونه ۵- میله	شکل ۳-۳- نمایی از سیستم AGFM (۱- سیم پیچ ۲
۵۵	شیشهای ۶- محفظه ضربه زننده ارتعاشی)
اه طرح شماتیکی از آن۵۷	شکل ۳-۴- نمایی از میکروسکوپ الکترونی روبشی به همر
۶۱	شکل ۳-۵- مراحل ماسکزنی و برقراری اتصال اهمی
۶۳	شکل ۳-۶- شماتیکی از فرایند پولیش الکتروشیمیایی
۶۵	شکل ۳-۷- نمای شماتیک از یک سلول سه الکترودی
بونهای کبالت روی زیرلایه آلومینیوم ۶۸	شکل ۳-۸- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت فاقد ی
، یونهای کبالت روی زیرلایه آلومینیوم ۶۹	شکل ۳-۹- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت حاوی
ند یونهای کبالت به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۶۵	شکل ۳-۱۰- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت فاق
٧٠	نانومتر رشد داده شده روی شیشه
وی یونهای Co ⁺² به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۶۵	شکل ۳-۱۱- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت حاو
۲۱	نانومتر رشد داده شده روی شیشه
د یونهای کبالت به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۱۵۰	شکل ۳-۱۲- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت فاقد
٧٢	نانومتر رشد داده شده روی شیشه
ی یونهای کبالت به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۱۵۰	شکل ۳-۱۳- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت حاو:
٧٣	نانومتر رشد داده شده روی شیشه

شکل ۳-۱۴- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت فاقد یونهای کبالت به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۴۰۰
نانومتر رشد داده شده روی شیشه ۷۴
شکل ۳-۱۵- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت حاوی یونهای کبالت به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۴۰۰
نانومتر رشد داده شده روی شیشه ۷۵
شکل ۳-۱۶- منحنی ولتامتری چرخه ای از الکترولیت فاقد یونهای کبالت به روی زیرلایه سیلیکون ۷۶
شکل ۳-۱۷- منحنی ولتامتری چرخه ای از الکترولیت حاوی یون های کبالت به روی زیر لایه سیلیکون۷۷
شکل ۳-۱۸- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت فاقد یونهای کبالت به روی زیرلایه ITO ۷۸
شکل ۳-۱۹- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت حاوی یونهای کبالت به روی زیرلایه ITO ۷۹
شكل ۴-۱- طرح پراش اشعه ايكس زيرلايه آلومينيوم
شکل ۴-۲- طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای ۲۸ درجه سانتیگراد بر روی
زیرلایه آلومینیومی. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد ۸۴
شکل ۴-۳- طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد بر روی
زیرلایه آلومینیوم. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد ۸۵
شکل ۴-۴- طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده با دمای الکترولیت ۲۸ درجه سانتیگراد بدون
زيرلايه آلومينيوم
شکل ۴-۵- تصاویر FESEM لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای الف و ب) ۲۸ پ و ت) ۵۰ ث و ج)
۶۰ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایه آلومینیوم۸۸
شکل ۴-۶- نمودارهای حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد، روی
زیرلایه آلومینیومی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی صفحه لایه
شکل ۴-۲- نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد، روی
زیرلایه آلومینیومی با اعمال یک میدان موازی صفحه لایه
شکل ۴-۸- نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد، روی زیرلایه
آلومینیومی با اعمال یک میدان موازی صفحه لایه
شکل ۴-۹- طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده با ضخامت ۱۶/۶۴ میکرومتر از الکترولیت بر روی
زیرلایه آلومینیومی. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد ۹۳
شکل ۴-۱۰- تصاویر FESEM لایههای نازک کبالت با دو ضخامت الف) ۳/۳۳ ب) ۱۶/۶۴ میکرومتر انباشت شده بر
روی زیرلایه آلومینیومی۹۴
شکل ۴–۱۱– نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده با ضخامت ۳/۳۳ میکرومتر از الکترولیت به روی
زیرلایه آلومینیومی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه
شکل ۴-۱۲- نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده با ضخامت ۵/۵۳ میکرومتر بر روی زیرلایه
آلومینیومی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه
شکل ۴-۱۳- نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده با ضخامت ۶/۲۲ میکرومتر بر روی زیرلایه
آلومینیومی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه
شکل ۴–۱۴– نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده با ضخامت ۱۶/۶۴ میکرومتر از بر روی زیرلایه
آلومینیوم با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه۹۷
شکل ۴-۱۵- طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده در پتانسیل ۱/۱- ولت از الکترولیت بر روی زیرلایه
آلومینیوم. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد

شکل ۴-۱۶- تصاویر FESEM لایههای نازک کبالت انباشت شده با دو پتانسیل الف) ۱/۱- ب) ۱/۲۵- ولت از
لکترولیت بر روی زیرلایههای آلومینیومی
شکل ۴–۱۷–– نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با پتانسیل ۱/۱– ولت از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیومی
ا اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه.
شکل ۴-۱۸- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با پتانسیل ۱/۲۵- ولت از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیومی
ا اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه.
شکل ۴–۱۹– طرح پراش نوعی اشعه ایکس لایهی نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیومی با ضخامت
۴۰۰ نانومتر. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد ۱۰۵
شکل ۴-۲۰- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیوم با ضخامت ۶۵ نانومتر.۱۰۶
شکل ۴-۲۱- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیوم با ضخامت ۱۵۰ نانومتر.۱۰۷
شکل ۴-۲۲- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیوم با ضخامت ۴۰۰ نانومتر.۱۰۷
شکل ۴-۲۳- طرح پراش اشعه ایکس حاصل از لایه کبالت انباشت شده روی زیرلایه سیلیکونی در دمای الکترولیت ۲۸
درجه سانتیگراد. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد
شکل ۴-۲۴- طرح پراش اشعه ایکس حاصل از لایه کبالت انباشت شده روی زیر لایه سیلیکون در دمای الکترولیت ۵۰
درجه سانتیگراد. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد
شکل ۴-۲۵- تصاویر FESEM لایههای نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای الف) ۲۸ ب) ۵۰ درجه
سانتیگراد بر روی زیرلایه سیلیکونی
شکل ۴-۲۶- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای ۲۸ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایههای
سیلیکونی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی صفحه لایه
شکل ۴-۲۷- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایههای
سیلیکونی با اعمال یک یک میدان مغناطیسی موازی صفحه لایه
شکل ۴-۲۸- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایههای
سیلیکونی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی صفحه لایه
شکل ۴-۲۹- طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیتبا ضخامت ۳/۱۵ میکرومتر بر روی
ِیرلایه ITO. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد
شکل ۴-۳۰- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با ضخامت ۳٬۱۵ میکرومتر روی زیرلایه ITO با میدان
ىغناطيسى موازى صفحه لايه ۱۱۸
شکل ۴-۳۱- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با ضخامت ۳٬۸۵ میکرومتر روی زیرلایه ITO با میدان مغنایسی
بوازی صفحه لایه ۱۱۸
شکل ۴-۳۲- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با ضخامت ۴/۹۱ میکرومتر روی زیرلایه ITO با میدان
ىغناطيسى موازى صفحه لايه
شکل ۴-۳۳- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با ضخامت ۵٬۰۷ میکرومتر روی زیرلایه ITO با میدان موازی
لغناطيسي صفحه لايه

فهرست جداول

۱۶	جدول ۱-۱- پتانسیل الکترودهای مرجع در حمامهای آبی و دمای ۲۹۸
۱۷	جدول ۲-۱- پتانسیل الکترود استاندارد تعدادی از فلزات نسبت SHE و SCE
مينيوم ۸۲	جدول ۴-۱- شرایط انباشت لایههای نازک کبالت از الکترولیتهای با دماهای متفاوت بر روی زیرلایه آلو
۸۷	جدول ۴-۲- تغییرات پارامترهای ساختاری لایههای نازک کبالت از الکترولیتهای با دماهای متفاوت
ز الكتروليت به	جدول ۴-۳- تغییرات کمیتهای مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده در سه دمای مختلف از
۹۱	وي زيرلايه آلومينيوم
ر روی زیرلایه	جدول ۴-۴- شرایط انباشت لایههای نازک کبالت با ضخامتهای مختلف از الکترولیت مذکور بر
٩٢	لومينيوم.
ه از الكتروليت	جدول ۴-۵- تغییرات کمیتهای مغناطیسی لایههای نازک کبالت با ضخامتهای متفاوت انباشت شد
٩٨	وي زير لايه آلومينيوم
ر روی زیرلایه	جدول ۴-۶- شرایط انباشت لایههای نازک کبالت با پتانسیلهای مختلف از الکترولیت مذکور بر
٩٩	لومينيوم،
ز الكتروليت بر	جدول ۴-۷- تغییرات کمیتهای مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده با پتانسیلهای متفاوت ا
۱۰۳	وي زيرلايه آلومينيوم.
با ضخامتهای	جدول ۴–۸- اطلاعات مربوط به لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای آلومینیومی ب
۱۰۴	ىتفاوت.
ی آلومینیوم با	جدول ۴-۹- تغییرات کمیتهای مغناطیسی کبالت انباشت شده از الکترولیت بر روی زیر لایههای
۱۰۸	ضخامتهای متفاوت، رشد داده شده روی شیشه
تهای با دمای	جدول ۴-۱۰- شرایط انباشت لایههای نازک کبالت انباشت شده روی زیرلایه سیلیکون. در الکترولین
۱۰۹	ىتفاوت.
بر روی زیرلایه	جدول ۴-۱۱- تغییرات کمیتهای مغناطیسی کبالت انباشت شده در الکترولیت با سه دمای مختلف ب
۱۱۵	سيليكونى.
يرلايه ١١۶.ITO	جدول ۴-۱۲- شرایط انباشت لایههای نازک کبالت با ضخامتهای مختلف از الکترولیت مذکور بر روی ز
فاوت ۱۲۰	جدول ۴-۱۳- تغییرات کمیتهای مغناطیسی کبالت انباشت شده روی زیر لایه ITO با ضخامتهای مت

فصل اول

مقدمهای بر لایه نشانی به روش الکتروانباشت

- ا مقدمه
- اريخچه 🛠
- الكتروانباشت
- ا مفاهيم اوليه
- اکتورهای مؤثر بر الکتروانباشت 🛠
 - انتقال جرم 🛠 مکانیسم انتقال جرم
- بررسی یک واکنش الکتروشیمیایی
- جریان کاتدی یا انتقال الکترون از کاتد به یونها
 - الكتروانباشت يك تك فلز
- النون فارادی و محاسبه ضخامت لایه انباشت شده 🛠
 - * لایههای نازک چندلایهای فلزی
 - نمودار ولتامتری چرخهای (CV)
 - مد کرونوکولومتری (CHC)

۱–۱– مقدمه

تکنولوژی ساخت لایههای نازک^۱ امروزه به سرعت در حال پیشرفت است. مفید بودن خصوصیات لایههای نازک و جالب توجه بودن مطالعه بر روی رفتار جامدهای دو بعدی باعث شده که چه از نظر علمی و چه از نظر تکنولوژیکی به لایههای نازک توجه ویژهای شود. امروزه بسیاری از قطعات مدرن و پیچیده نوری، الکتریکی و الکترونیکی با استفاده از لایههای نازک پوشش داده میشوند. با پیشرفت صنایع الکترونیک^۲ به قطعاتی نیاز است که قادر به واکنش سریع در مقابل تغییر سوی جریان و همچنین قادر به پاسخگویی بسامدهای بالا باشند. با ساخت دیود^۳ و ترانزیستور^۴ اولین گام جدی جهت به کارگیری مایدههای نازک برداشته شده است. با رشد زمینههای مختلف استفاده از مدارهای الکترونیکی مانند وسایل صنعتی، آزمایشگاهی، خانگی و به ویژه فضایی و نظامی، دانشمندان و محققان به این فکر افتادند تا به جای ساختن قطعات جداگانه بتوانند تا حد ممکن، تعدادی زیادی از این قطعات و مدارها را در یک واحد تجاییده و تولید کنند. افزایش تمرکز مدارهای مجتمع سبب شد تا لایههای نازک و تکنولوژی ساخت آنها از اهمیت ویژهای برخوردار شود. لایههای نازک در ساخت وسایل نوری، الکترونیکی و ایتوالکترونیک^۴ م آنها از اهمیت ویژهای برخوردار شود. لایههای نازک در ساخت وسایل نوری، الکترونیکی و ایتوالکترونیک^۴ م

معمولاً، لایههای نازک مغناطیسی با استفاده از تکنیکهای انباشت تبخیری و در خلاء، مانند تبخیر حرارتی^۲، کند و پاش[^] و روآراستی پرتو – مولکولی^۹(MBE) تهیه می شوند. به منظور تشکیل لایه نازک با

- ³ Diode
- ⁴ Transistor

⁶ Laser

¹ Thin films

² Electronics

⁵ Optoelectronics

⁷ Thermal Evaporation

⁸ Sputtering

⁹ Molecular Beam Epitaxy

استفاده از این تکنیکها، یک فلز از طریق تبخیر یا کندوپاش بر روی یک زیر لایه انباشت میشود. در روش MBE تحت شرایطی خاص، امکان رشد لایههای اتمی یکی پس از دیگری و تشکیل یک تک بلور تقریباً کامل وجود دارد، اما تکنولوژی مورد استفاده در این روش بسیار پیشرفته و پرهزینه میباشد. از سوی دیگر، کندوپاش که روشی با پیچیدگی و هزینه کمتر است، میتواند برای تولید لایههای نازک و ابرشبکهها^۱ به کار رود، ساختارهای تهیه شده به این روش تک بلور نمیباشند و فصل مشترک^۲ تیزی ندارند.

الکتروانباشت^۳ در تکنولوژی مدرن روز به عنوان یک تکنیک قابل دوام و اقتصادی جدید با امکان تولید درمقیاس بزرگ پدیدار گشته است [۱]. این تکنیک علاقهی بسیاری را در سراسر جهان به خاطر سادگی، هزینهی پایین، انباشت آسان صرف نظر از اندازه و مساحت سطح، انباشت در دمای اتاق، عدم نیاز به خلاء و قابلیت انباشت حتی در نانوسوراخها (خلل وفرجها) به خود جذب کرده است [۲].

۲-۱- تاریخچه

تاریخچه الکتروانباشت به کشف ولتا^۴ (تولید الکتریسیته به وسیله واکنشهای شیمیایی) در سال ۱۸۰۰ برمی گردد [۳]. با کشف این نوع از انرژی تلاشهای زیادی در زمینه رشد و توسعه این شاخه از علم که الکتروشیمی خوانده می شود صورت گرفت. در سال ۱۸۳۵ مایکل فارادی^۵ مفاهیم جدیدی مانند، آند، کاتد، الکترود، الکترولیت و یون را معرفی نمود که بدون آنها توصیف مفاهیم الکتروشیمی غیر ممکن می باشد. اولین کاربرد الکتروانباشت مربوط به آلیاژهای برنج و برنز می باشد. تا سال ۱۹۰۰ کاربرد الکتروانباشت خیلی محدود و تقریبا تجربی بوده است [۴]. اولین کار سیستماتیک روی انباشت آلیاژها

³ Electrodeposition

¹ Superlattice

² Interface

⁴ Volta

⁵ Michael Faraday

1-۳- الكتروانباشت

الکتروانباشت در یک حمام که شامل الکترولیت^۴ و دو یا سه الکترود^۵ میباشد، انجام میشود. الکترولیت معمولا آبی، غیرآبی یا ماده رسانای مذابی است که در آن جریان توسط حرکت یونها انجام می گیرد. یکی از این الکترودها به عنوان آند (الکترود ثانویه ^۶ SE) و دیگری به عنوان کاتد (الکترود کار ^۷ WE) و سومی نیز به عنوان الکترود مرجع^۸ (RE) در نظر گرفته می شود که در ادامه به جزئیات آن پرداخته خواهد شد.

۱–۴– مفاهيم اوليه

الكترود 🛠

یک فلز یا یک نیمه رسانا است که در سلول^{⁶ الکتروشیمیایی قرار می گیرد و عامل انتقال الکترون می باشد و دارای دو نوع آند و کاتد است.}

اکسایش 🛠

واکنشی که یونهای منفی با از دست دادن الکترون بیبار و یا یونهای مثبت تشکیل می گردند.

- ¹ Fritz
- ² Blum
- ³ Multilayer
- ⁴ Electrolyte
- ⁵ Electrode
- ⁶ Second Electrode
- ⁷ Working Electrode
- ⁸ Refrence Electrode
- ⁹ Cell

ا کاهش

واکنشی که در آن یونهای مثبت با گرفتن الکترون از کاتد بیبار میشوند و یا یونهای منفی تشکیل میگردند.

اند 🛠

الکترودی است که در آن اکسیداسیون^۲ صورت می گیرد یعنی یونهای منفی با از دست دادن الکترون بیبار میشوند یا یونهای مثبت تشکیل می گردند.

اتد 🛠

الکترودی است که در آن احیا^۴ صورت می گیرد یعنی یونهای مثبت با گرفتن الکترون از کاتد بیبار می شوند و یا یونهای منفی تشکیل می گردند.

ا جریان کاتدی 🕯

جریانی که شامل شارش الکترونها از یک الکترود به الکترولیت میباشد، جریان کاتدی یا جریان احیاء می گویند.

الله جريان آندى م

جریانی را که در اثر شارش الکترونها از الکترولیت به الکترود صورت می گیرد، جریان آندی یا جریان اکسیداسیون می نامند.

¹ Anode

² Oxidation

³ Cathode

⁴ Reduction

⁵ Cathodic Current

⁶ Anode current

الكتروليت

الکترولیت محلولی رسانا است که محیط بین الکترودها را در درون پیل^۱ تشکیل میدهد و شامل تمام یونهای فلزی عناصر مورد انباشت بر روی الکترود کار میباشد. الکترولیت میتواند شامل یونهای دیگری از جمله عوامل کمپلکس کننده^۲ و بافرها^۳ که باعث افزایش رسانایی محلول می گردد نیز باشد. بنابراین وجود این عوامل مقاومت الکتریکی بین الکترود کار و الکترود ثانویه را کاهش میدهد که این امر منجر به کاهش افت پتانسیل بین این الکترودها می گردد.

الکترود هیدروژن استاندارد[†]

الکترود هیدروژن استاندارد صفحه پلاتینی کوچکی میباشد که معمولا در محلول اسیدی مثل اسید سولفوریک ۲۰ درصد نگهداری میشود. واکنش نیم سلی که در الکترود هیدروژن استاندارد اتفاق میافتد به صورت زیر است.

$$H^2 \to 2H^+ + 2e \tag{1-1}$$

به دلیل این که در هنگام آزمایش مقدار زیادی هیدروژن در اطراف سیم پلاتینی متصل به صفحه پلاتینی متصاعد می گردد، از نظر عملی استفاده از الکترود هیدروژن استاندارد مناسب نیست.

پتانسیل الکترود استاندارد^۵

پتانسیل یک الکترود استاندارد به صورت پتانسیل بین آن الکترود در محلول یک مولار از یونهای خودش نسبت به الکترود هیدروژن استاندارد در دمای C ۲۵[°] C تعریف می شود.

¹ Cell

² Complex

³ Buffer

⁴ Hydrogen Standard Electrode

⁵ Standard Electrode Potential

الكترود كار 🌣

الکترود کار می تواند یک ورقهی فلزی یا یک لایهی نازک فلزی نشانده شده باشد. یونهای مثبت با گرفتن الکترون از این چشمه سرشار از الکترون احیاء شده و بر روی آن انباشت می شوند. این الکترود نباید تمایلی به واکنش شیمیایی با الکترولیت داشته باشد.

الكترود ثانويه

این الکترود به پتانسیل مثبت باطری وصل میشود و به همراه الکترود کار جریان مورد نیاز را فراهم می کند. از طرفی الکترود ثانویه باید چنان انتخاب شود که هیچ گونه واکنش شیمیایی با محلول نداشته باشد. در سلولهای آزمایشگاهی، الکترود ثانویه یک رسانای بسیار خوب مانند پلاتین^۲ است. این الکترود سطحی برای تعادل واکنشهایی که در سطح الکترود کار رخ می دهند، فراهم می کند و به تدابیر خاصی مانند سونش کردن نیازی ندارد. برای پشتیبانی جریان تولید شده در الکترود کار سطح می کند و به تدابیر خاصی مانند سونش کردن نیازی ندارد. برای پشتیبانی جریان تولید شده در الکترود کار سطح الکترود کار سطحی برای تعادل واکنشهایی که در سطح الکترود کار رخ می دهند، فراهم می کند و به تدابیر خاصی مانند سونش کردن نیازی ندارد. برای پشتیبانی جریان تولید شده در الکترود کار سطح الکترود ثانویه باید برابر با یا بزرگتر از سطح الکترود کار باشد. در حین هر آزمایش الکتروشیمیایی یک واکنش اکسایشی-کاهشی در سطح الکترود ثانویه رخ می دهد. محصولات این واکنش می تواند به الکترود کار نشر پیدا کند و مزاحم این مراحم ایسی-

الكترود مرجع

به منظور کنترل اختلاف پتانسیل بین الکترولیت و الکترود کار و نیز بدست آوردن انباشتی با کیفیت بالا از الکترود مرجع استفاده می شود. نقش این الکترود فراهم ساختن پتانسیلی ثابت روی سطح الکترود کار نسبت به محلول مجاورش است. در واقع این پتانسیل مستقل از جریان تولید شده بین الکترود ثانویه و الکترود کار می باشد. از آن جا که هیچ جریانی از الکترود مرجع عبور نمی کند بنابراین پتانسیل آن نسبت به

¹ Deposition

² Platinum

پتانسیل الکترولیت تغییر نمینماید و پلاریزه^{^۱ نمیشود. یک الکترود مرجع خوب باید پتانسیلش نسبت به دما و زمان ثابت و غیر قابل تغییر باشد. این الکترود معمولاً در نزدیکی الکترود کار قرار می گیرد و رسالت آن تغییر دراختلاف پتانسیل بین الکترود کار و محلول مجاور آن است. الکترود مرجع به کار گرفته شده در این تحقیق الکترود جیوه اشباع^۲ (SCE) میباشد که محلول داخل آن KCL اشباع است. شکل ۱-۱ نمایی شماتیک از این الکترود مرجع را نشان میدهد.}



شكل ۱-۱: نماى شماتيك الكترود مرجع جيوه اشباع.

سلول الكتروشيميايي^۳

ابزاری که میتواند با استفاده از واکنشهای شیمیایی، انرژی الکتریکی تولید کند، یا با استفاده از انرژی الکتریکی به انجام واکنشهای شیمیایی کمک کند. وقتی واکنشها خودبه خودی است سلول گالوانیک^۱، و وقتی واکنشها غیر خودبه خودی هستند سلول الکترولیتیک^۲ است.

¹ Polarize

² Saturated Calomel Electrode

³ Electrochemistry cell

1-۵- فاکتورهای مؤثر بر الکتروانباشت

کمیتهای فیزیکی و شیمیایی مهمی وجود دارند که میتوانند بر کیفیت لایه ناز ک تهیه شده به روش الکترولیت، مؤثر باشند. این پارامترها شامل غلظت یونهای فلزی در الکترولیت، دما و PH الکترولیت، بهرهی جریان، پتانسیل انباشت، چگالی جریان، شکل هندسی و فاصلهی بین الکترودها، مواد افزودنی و ممپلکس کنندهها (برای تغییر پتانسیل) و نیز تمیزی سطح زیرلایه میباشند. هر یک از این پارامترها به نحوی میتوانند روآراستی⁷ و خصوصیات لایه همانند اندازه دانهها⁷، خلل و فرج، استرس⁶ و چسبندگی⁷، یکنواختی⁹ و ترکیب لایه را احتر تأیر قراردهند. اندازه دانهها⁷، خلل و فرج، استرس⁶ و چسبندگی⁷، یکنواختی⁹ و ترکیب لایه را تحت تأثیر قراردهند. اثرات این پارامترها بر روی کیفیت لایه در ادامه شرح داده میشود. غلظت یونی را میتوان به عنوان عامل مؤثری درتهیه یک لایه آلیاژی یا بس لایهای از طریق روش میشود. غلظت یونی را میتوان به عنوان عامل مؤثری درتهیه یک لایه آلیاژی یا بس لایهای از طریق روش میشود. غلظت یونی را میتوان به عنوان عامل مؤثری درتهیه یک لایه آلیاژی یا بس لایه ای از طریق روش میشود. غلظت یونی را میتوان به عنوان عامل مؤثری درتهیه یک لایه آلیاژی یا بس لایه ای از طریق روش میشود. غلظت یونی را میتوان به عنوان عامل مؤثری درتهیه یک لایه آلیاژی یا بس لایهای از طریق روش ایکترولیت و پتانسیل انباشت بهینه شوند. پتانسیل بهینه با H تغییر میکند و میتواند تحت تأثیر جریان گذرنده از حمام برای یک ولتاژ خاص تأثیرگذار است. PH الکترولیت اندازه گیری غلظت یون جریان گذرنده از حمام برای یک ولتاژ خاص تأثیرگذار است. PH الکترولیت اندازه گیری غلظت یون همی در وژن در الکترولیت است که با رابطه زیر تعیین میشود [۳]:

$$pH = -\log_{10} \left[H^+ \right] \tag{(Y-1)}$$

pH الکترولیت را می توان با اضافه کردن بافرها کنترل کرد. با توجه به رابطه بالا هنگامی که غلظت یون هیدروژن افزایش می یابد، pH محلول کاهش می یابد و خاصیت اسیدی محلول بیشتر می شود. معمولاً تولید

¹ Galvanic cell

² Electrolytic cell

³ Epitaxy

⁴ Grain size

⁵ Stress

⁶ Adherence

⁷ Uniformity

⁸ Single bath

گاز هیدروژن یکی از واکنشهای مزاحمی است که در الکتروانباشت صورت می گیرد و توسط واکنش زیر داده می شود:

$$2H^+ + 2e^- \to H_2(g) \tag{(7-1)}$$

به علاوه تولید این گاز از الکترولیز آب نیز ناشی می شود که در این صورت:

$$2H_2O + 2e \rightarrow 2OH^- + H_2(g) \tag{(f-1)}$$

اثر تولید گاز هیدروژن (در هنگام استفاده از pH پایین و پتانسیل منفی) زیاد قابل توجه است زیرا در این صورت جریان دارای دو مؤلفه میباشد. یک مؤلفه، جریانی ناشی از ا حیای یونهای فلزی است و مؤلفهی دیگر، جریانی ناشی از یونهای هیدروژن میباشد. در این صورت مقدار واقعی فلز انباشت شده برابر مقدار محاسبه شده مطابق قانون فارادی^۱ نیست. نسبت بین مقدار واقعی و مقدار محاسبه شدهی فلز انباشت شده بهرهی جریان نامیده میشود که معمو لاً کمتر از ۱۰۰ درصد است. از طرفی محلولهایی با PH پایین توان پرتاب کنندگی بالایی دارند و این موضوع یکنواختی انباشت را بهتر کنترل می کند. بنابراین PH محلول باید بهینه گردد.

عامل مهم دیگر چگالی جریان است که به صورت جریان جاری بر واحد سطح انباشت تعریف می شود. مقدار چگالی جریان با پتانسیل انباشت تغییر کرده و می تواند مور فولوژی^۲ سطح و ساختار بلوری^۳ محصول محصول را تحت تأثیر قرار دهد. با انتخاب هندسه و فاصلهای مناسب بین الکترودها به گونهای که میدان الکتریکی[†] متقارنی بین آنها برقرار گردد می توان چگالی جریان یکنواختی در سطح الکترود کار به وجود آورد. یک عامل مهم دیگر در تعیین کیفیت لایه انباشت شده (به خصوص در چگالیهای جریان پایین)

¹ Faraday's Law

² Morphology

³ Crystal structure

⁴ Electrical field

شیمیایی مختلفی دارند و این موضوع بر ساختار لایه تأثیرگذار است این انتخاب میتواند بسیار اهمیت داشته باشد [۵].

۱–۶– مکانیسم انتقال جرم

حرکت ماده از جایی به جای دیگر در الکترولیت را انتقال جرم گویند. این انتقال در اثر اختلاف پتانسیل شیمیایی یا الکتریکی بین دو محل و یا از حرکت یک عنصر حجمی در محلول ناشی میشود. این پدیده نقشی اساسی در همهی فرآیندهای الکتروانباشت به عهده دارد. هنگامی که الکترودی در محلول فرو برده میشود، بلافاصلهیک حالت تعادل^۱ به وجود خواهد آمد. در غیاب میدان الکتریکی خارجی هیچ انباشتی صورت نخواهد گرفت. بعد از اعمال یک پتانسیل خارجی ناحیهای مرزی در فصل مشترک الکترود کار و محلول شکل می گیرد و جریان بوسیلهی یونهای درون محلول حمل میشود، به این ترتیب یونهای مثبت به سمت کاتد حرکت می کنند. جابجایی یونهای فلزی (انتقال جرم) در داخل الکترولیت عمدتاً به صورت سه فرآیند پخش^۲، مهاجرت^۳ وهمرفت^۴ میباشد که در ادامه مورد بررسی قرار خواهند گرفت [۳].

۱-۶-۱- فرآیند پخش

به حرکت یونها تحت تأثیر گرادیان غلظت، جریان پخش گویند و معمولاً هنگامی رخ میدهد که یک تغییر شیمیایی در سطح الکترود وجود داشته باشد (در اثر اکسیداسیون یا احیاء). واکنش الکترودی، ماده اولیه را به محلول تبدیل میکند و در نتیجه همواره در مجاورت سطح الکترود یک لایه مرزی با ضخامت

³ Migration

¹ Equilibrium

² Diffusion

⁴ Convection

کمتر از cm ^{۲-}۱۰ به وجود میآید و معمولاً فرآیند پخش بستگی به فاصله از سطح الکترود دارد. هنگامی که غلظت یونها در این ناحیه کم است میتوان پخش را کنترل نمود.

اگر تمام یونهای به وجود آمده در این ناحیه به سرعت مصرف شوند انباشت ما انباشتی با جریان پخش محدود است. چگالی شار یونی از نوع n که بر حسب mol cm⁻² s⁻¹ بیان میشود، با قانون فیک^۱ داده میشود [۳].

 $N_{n(diff)} = -D_n \nabla C_n$ (۵-۱) که D_n و D_n و D_n به ترتیب غلظت و ضریب پخش⁷ یون نوع n میباشند.

۱-۶-۲ فرآیند مهاجرت

به حرکت یونها تحت تأثیر میدان الکتریکی خارجی جریان مهاجرت گویند. این میدان معمولاً با اعمال یک اختلاف پتانسیل مشخص بین الکترودها ایجاد می گردد. در این فرآیند بار از درون محلول می گذرد و جریان الکترونهای درون مدار بیرونی، با عبور از درون محلول و بین الکترودها موازنه می شود. معمولاً با اعمال یک اختلاف پتانسیل بین کاتد و آند نیروی الکتریکی بر یونها (کاتیونها و آنیونها) وارد می گردد که باعث حرکت آنها در میان الکترولیت می شود و در نتیجه یک جریان الکتریکی بین الکترودها برقرار می گردد. نیروهای هدایت کننده ی فرآیند مهاجرت کاملاً الکترواستاتیک می باشند و در بیشتر آزمایشهای مربوط به الکتروانباشت، مهاجرت در بیرون لایه ی مرزی در مجاورت سطح الکترود کار که گرادیان غلظت تقریباً صفر می شود نقش اصلی را ایفاء می کند. چگالی شار مهاجرت یونی از نوع n با رابطه (۱–۶) داده می شود [۳]:

$$N_{n(mig)} = -Z_n \mu_n F C_n \nabla \varphi \tag{(9-1)}$$

¹ Fick's Law

² Diffusion coefficient

که Z_n تعداد پروتون هایی که با استفاده از یون های نوع n حمل می شوند، μ_n ، تحر ک پذیری F ثابت فارادی و ϕ پتانسیل الکترواستاتیکی است.

۱-۶-۳- فرآیند همرفت

به حرکت یونها تحت تأثیر نیروهای مکانیکی^۲ مانند نیروهای کششی^۳ و هیدرودینامیکی^۴ و یا چرخشی^۵ جریان همرفت گویند. چگالی شار همرفت برای یونی از نوع n با رابطه زیر داده می شود [۳]. $N_{n(con)} = C_n V$ (۷-۱) که V سرعت² تودهی الکترولیت می باشد. چگالی شار کل گونههای یونی می تواند در معادله ی نرنست

$$N_n = -D_n \nabla C_n - Z_n \mu_n F C_n \nabla \varphi + C_n V \tag{A-1}$$

۱-۷- بررسی یک واکنش الکتروشیمیایی

واکنش الکتروشیمیایی یک فرآیند شیمیایی است که در آن با اعمال یک پتانسیل یک یا چند الکترون به سطح الکترود کار انتقال مییابند و از طرفی یونهای مثبت فلزی به سمت این الکترود روانه خواهند شد و با جذب این الکترونها بر روی کاتد انباشت میشوند. واکنشهای زیر در اطراف کاتد و آند رخ میدهند:

 $M^{n+} + ne \rightarrow M$ (کاتد) (۹-۱)

$M \rightarrow M^{n+} + ne$	(آند)		$(1 \cdot - 1)$
-----------------------------	-------	--	-----------------

¹ Mobility

- ³ Tensional force
- ⁴ Hydrodinamic force

⁶ Velocity

² Mechanic force

⁵ Gyration force

⁷ Nernst-Plank equation

در روابط بالا M اتم یک عنصر فلزی، n تعداد الکترونها و ⁺ⁿ یون آبی فلزی را نشان میدهد. جریانی را که شامل شارش الکترونها از یک الکترود به الکترولیت میباشد جریان کاتدی یا جریان احیاء میگویند ولی جریانی را که در اثر شارش الکترونها از الکترولیت به الکترود صورت میگیرد جریان آندی یا جریان اکسیداسیون گویند. از آنجا که در الکتروانباشت جریان کاتدی از اهمیت بیشتری برخوردار است در ادامه این نوع جریان مورد بررسی قرار میگیرد [۳].

۱–۸– جریان کاتدی یا انتقال الکترون از کاتد به یونها

برای درک بهتر الکتروانباشت باید فرآیند انتقال الکترون از کاتد به یونها مورد مطالعه قرار گیرد. به عنوان مثال واکنشی شیمیایی را در اطراف الکترود کار بررسی میکنیم:

 $O + n\bar{e} \to R \tag{11-1}$

در این رابطه O یون فلز، R اتم فلزی (که O به R در محلول احیاء می شود) و n تعداد الکترونهای مبادله شده می باشد. هنگامی که سلول از حالت تعادل خارج می شود، یک جریان داخلی به وجود می آید. اما هنگامی که هیچ جریانی از سلول عبور نمی کند پتانسیل کاتد به مقداری می رسد که به پتانسیل تعادلی (Φeq) معروف است و با معادله نرنست تعیین می گردد [۳]:

$$\Phi_{eq} = \Phi_S + \frac{R'T}{nF} Ln \frac{C_o}{C_R} \tag{17-1}$$

در رابطهی بالا Φ_s پتانسیل استاندارد یونهای O و T، R دمای مطلق گاز، 'R ثابت گاز کامل'، F ثابت فارادی (Φ_s شاردی (Φ_s شاردی (Φ_s شاردی (C_r و C C_r) و C و C و C می باشند.

¹ Gas constant

همانطور که قبلاً اشاره شد فرآیند رشد، فرآیندی غیر تعادلی است. برای به دستآوردن جریان انباشت باید اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده بین الکترود کار و الکترود مرجع از مقدار تعادلی Φeq به Φext که توسط رابطهی (۱–۱۳) داده می شود تغییر کند [۵].

$$\Phi_{ext} = \Phi_{eq} + \eta + iR \tag{17-1}$$

در این رابطه Φext پتانسیل اعمال شده خارجی بین کاتد و آند، R مقاومت محلول، iR افت پتانسیل ناشی از مقاومت محلول بین دو الکترود است و η را میتوان به صورت رابطه زیر نوشت [۵] :

$$\eta = \Phi - \Phi_{eq} \tag{14-1}$$

که Φ پتانسیل مشخصهی الکترود کار (WE) است. هم iR و هم η به صورتهای مختلفی با جریان تغییر می کنند. به منظور کنترل پتانسیل الکترود کار که امری ضروری جهت انباشت لایه یی کنواخت میباشد باید افت پتانسیل (یعنی حاصلضرب جریان در R) بین الکترود کار و الکترود مرجع کمترین مقدار ممکن را داشته باشد و این امر با قرار دادن الکترود مرجع در فاصلهای مناسب و نزدیک به الکترود کار امکان پذیر می باشد. منبع پتانسیل جریانی بین الکترود کار و الکترود ثانویه ایجاد می کند تا اختلاف امکان پذیر می باشد. منبع پتانسیل جریانی بین الکترود کار و الکترود ثانویه ایجاد می کند تا اختلاف پتانسیل بین الکترود کار و الکترود مرجع در یک مقدار ثابت نگه داشته شود. معمولاً این کار از طریق یک منبع تغذیه DC و یک مدار پشتیبان صورت می گیرد و هیچ جریانی از الکترود مرجع عبور نمی کند و پتانسیل آن نسبت به الکترولیت ثابت می ماند و در نتیجه الکترود مرجع در طول آزمایش هیچ واکنشی از خود نشان نمی دهد.

در بیشتر آزمایش ها، الکترود مرجع الکترود جیوه ی اشباع (SCE) میباشد که محلول داخل آن KCl اشباع است و پتانسیل آن بر حسب الکترود هیدروژن استاندارد (SHE) V +۰/۲۴۲ میباشد. در جدول ۱-۱ پتانسیل تعدادی از الکترودهای مرجع آمده است [۳].

الكترود	محلول	نام	پتانسیل (V) بر حسب NHE
Hg/HgO	1mol L ⁻¹ NaOH	Mercurous oxide	+•/•٩٨
Ag/AgCl	KCl اشباع	Mercurous oxide	+•/١٩٧
Hg/Hg ₂ Cl ₂	KCl اشباع	Silver Cloride	+•/٢۴٢
Hg/Hg ₂ Cl ₂	1mol L ⁻¹ KCl	SCE	+•/٢٨•
Hg/Hg ₂ So ₄	K ₂ So ₄ اشباع	Mercurous.sulpHate	+•/۶۴

جدول ۱-۱- پتانسیل الکترودهای مرجع در حمامهای آبی و دمای ۲۹۸ [۳].

در جدول ۱-۲ پتانسیل الکترود استاندارد تعدادی فلز نسبت به SHE و SCE آمده است [۵]. هر چه پتانسیل الکترود استاندارد فلز بیشتر باشد آسان تر احیاء شده و به فلز خنثی تبدیل میشود. بر طبق مقادیر داده شده در جدول ۱-۲۰^{۲۰} دارای پتانسیل الکترود استاندارد مثبتتری نسبت به ^{۲۰} Co^{۲۰} است. بنابراین داده شده در به در این الاین دارای پتانسیل الکترود استاندارد مثبتتری نسبت به ۲۰^{۲۰} است. بنابراین داده شده در از مان در ۲۰^{۲۰} مایل بیشتری به جذب دو الکترون دارد و در نتیجه به راحتی احیاء شده و بر روی کاتد انباشت می گردد.

واكنش الكترود	پتانسیل (V) بر حسب NHE	پتانسیل (V) بر حسب SCE
$\operatorname{Pt}^{r_+} + r_e \leftrightarrow \operatorname{Pt}$	+1/۲	+•/٩۵٨۵
$\operatorname{Cu}^{r_+} + r_e \leftrightarrow \operatorname{Cu}$	+•/٣۴•٢	+•/•٩٨٧
$Hg_2Cl_2 + \Upsilon e \leftrightarrow \Upsilon Hg + \Upsilon Cl^- (sat.KCl)$	+•/7410	•/• • •
$\Upsilon H^{\Upsilon +} + \Upsilon e \leftrightarrow H_2$	• / • • • •	-•/۲۴۱۵
$Ni^{r_+} + re \leftrightarrow Ni$	-•/٣٣	-•/4710
Co^{T+} + $\operatorname{Te} \leftrightarrow \operatorname{Co}$	-•/YA	-•/2712

جدول ۲-۱- پتانسیل الکترود استاندارد تعدادی از فلزات نسبت SHE و SCE [۳].

۹-۹- الکتروانباشت یک تک فلز

شکل ۱-۲ یک چیدمان انجام فرآیند الکتروانباشت را به صورت شماتیک نشان میدهد که شامل قسمت های زیر است:

منبع پتانسیلی که به کامپیوتر متصل میباشد و با اعمال جریان بین الکترود کار و الکترود ثانویه اختلاف پتانسیل معینی را بین الکترود کار و الکترود مرجع ایجاد می کند.

الكتروليتى شامل يون هاى فلزى مورد نظر جهت انباشت.

سه الکترود که در مورد چگونگی عملکرد، محل قرار گیری و خصوصیات هر کدام به تفصیل بحث شد.



شکل ۱-۲- نمای شماتیک یک سیستم الکتروانباشت.

۱-۱۰- قانون فارادی و محاسبه ضخامت لایه انباشت شده

برای به دست آوردن الکتروانباشتی مناسب، ابتدا زیرلایه در حد اتمی سونش می شود و سپس به منظور کنترل مساحت مادهی انباشت روی آن با ماسک پوشانده می شود. هر چه پتانسیل الکترود منفی بیشتر گردد انرژی الکترونهای رسانش بالاتر می رود. با اعمال پتانسیل منفی، الکترونها انرژی لازم برای اشغال ترازهای ظرفیت یونهای فلزی را کسب می کنند و باعث جریان احیاء می گردند و یونهای فلزی به اتم های فلزی احیاء شده و بر روی الکترود کار انباشت می گردند. به طور مشابه واکنش معکوس با اعمال یک پتانسیل مثبت اتفاق می افتد و باعث کاهش انرژی الکترونها می گردد که در این حالت انتقال الکترونها به الکترود صورت می گیرد و جریان اکسیداسیون را سبب می شود. اتم های فلزی در الکترود کار اکسید شده و در الکترولیت حل می شوند.

جرم فلز انباشتی بر روی الکترود کار یا حل شده از الکترود کار با استفاده از قانون فارادی از رابطهی زیر تعیین می گردد [۳] :

$$m = \frac{qM}{nF} \tag{10-1}$$

در این رابطه q بار عبوری بین الکترود کار و الکترود ثانویه، F ثابت فارادی، n و M به ترتیب ظرفیت و جرم اتمی فلز هستند. با استفاده از رابطه فوق ضخامت لایهی انباشت شده را میتوان بفرم زیر نوشت :

$$d = \frac{qM}{nF\rho A} \tag{17-1}$$

که در آن ho جرم حجمی لایه و A مساحت لایهی انباشت شده است.

۱–۱۱– لایههای نازک چندلایهای فلزی

لایههای چندتایی فلزی شامل لایههای متوالی از دو یا چند فلز متفاوت میباشند که برروی زیرلایه انباشت میشوند. ضخامت هرلایه بین چند آنگستروم تا صدها آنگستروم میباشد و لایههای چندتایی شامل صدها لایه هستند. یک چندلایهای دورهای را ابرشبکه می گویند. ابرشبکهها به علت خواص خیلی جالبی که از خود نشان میدهند به طور فراوان مورد استفاده قرار می گیرند.

1-11-1 - الكتروانباشت تك حمام

در روش الکتروانباشت تک حمام، لایه چند لایه از طریق تغییر دورهای ولتاژ انباشتی (پتانسیواستات^۱) یا تغییر دورهای جریان انباشتی (گالوانواستات^۲) بین دو مقدار مناسب ایجاد می گردد. همه یونهای فلزی که انباشت میشوند بایستی در داخل تک الکترولیت وجود داشته باشد. در یک پتانسیل منفی کم، فلزی که تمایل بیشتری به جذب الکترون دارد (فلز A) برروی الکترود کار انباشت میشود و لایه A را تشکیل میدهد. در پتانسیل منفی زیاد (بستگی به پتانسیلهای انباشتی یونهای فلزی حاضر در الکترولیت دارد) فلز دیگر (فلز B) بر روی الکترودکار انباشت میشود و لایه B را تشکیل میدهد. بنابراین با قرار دادن پتانسیل بین دو مقدار مناسب امکان تولید ابرشبکهها وجود دارد. فلزی که تمایل بیشتری به جذب الکترون دارد به خوبی فلزی که تمایل کمتری به جذب الکترون دارد، در پتانسیل منفی زیاد نیز انباشت میشود. بنابراین ترکیب واقعی لایه B به صورت مداکترون دارد در پتانسیل منفی زیاد نیز انباشت میشود. بنابراین ترکیب واقعی لایه B به صورت مداکترون دارد که یک لایهای از فلز خالص B انباشت میشود. با این وجود می توان غلظت فلز A را در لایه میاه کان ندارد که یک لایهای از فلز خالص B انباشت کنیم، با این وجود می توان غلظت فلز A را در لایه میاه میان دارد که یک لایهای از فلز خالص B انباشت کنیم، با این وجود می توان غلظت فلز A را در لایه میام می ندارد که یک لایه ای از فلز خالص B انباشت

1-11-1- الكتروانباشت توسط دو حمام

در این روش الکتروانباشت، زیرلایه بین دو حمام مختلف که دارای یونهای متفاوت هستند، جابجا می شود. هدف این روش انباشت تک فلز یا ترکیب آلیاژی از هرالکترولیت می باشد.

¹ Potentiostatic

² Galvanostatic

قبل از انباشت هرلایه، زیرلایه بایستی تمیز و با آب مقطر شسته شود تا اینکه از انتقال آلودگی از یک الکترولیت به الکترولیت دیگر جلوگیری شود. با این حال تمیز نگهداشتن زیرلایه کار سختی است و از واکنشهای ناخواستهای که در طول انتقال زیرلایه از یک الکترولیت به الکترولیت دیگر صورت میگیرد نمیتوان جلوگیری کرد. بنابراین موقعی که لایه چندتایی شامل لایههای نازک زیادی باشد، ضخامت لایه اکسیدی بوجود آمده درحین انتقال زیرلایه، دارای اهمیت خواهدبود.

الکتروانباشت با دوحمام مستلزم دستگاههای پیچیدهای است که کاربردش را محدود میکند. علیرغم این محدودیتها، به علت توانایی برای انباشت دو فلزخالص مختلف، این روش نیز ممکن است مورد استفاده قرار گیرد.

۱-۱۲-۱ نمودار ولتامتری چرخهای^۱ (CV)

نمودار ولتامتری چرخهای ابزاری قدرتمند برای مطالعهی اولیهی سیستم الکتروشیمیایی است و به وسیلهی آن میتوان در مورد واکنشهایی که در الکترودها اتفاق میافتد اطلاعات مفیدی کسب کرد. در این تکنیک یک مولد، ولتاژ الکترود را بین دو مقدار V_1 و V_1 با آهنگ v_1 ، به طور خطی روبش میکند (جریان کاتدی) سپس مولد جریان جهت روبش را عکس کرده و با همان آهنگ ولتاژ بین V_1 و V_1 را روبش میکند (جریان آندی). در واقع کامپیوتر جریان را به صورت تابعی از ولتاژ اعمال شده ذخیره میکند. به منظور درک فرآیند ولتامتری چرخهای یک واکنش معکوس پذیر مانند واکنش زیر که در الکترود کار اتفاق میافتد در نظر گرفته میشود:

$$O + n\bar{e} \to R \tag{1Y-1}$$

¹ Cyclic Voltametry

که O گونهای از یون است که به R کاهش مییابد. در ناحیهای که قله کاتدی مشاهده میشود گونه O با دریافت n الکترون به R کاهش مییابد و در ناحیهای که قله آندی مشاهده میشود گونه R با از دست دادن n الکترون به O اکسایش مییابد. آنچه که در لایه نشانی یک تک فلز به روش الکتروانباشت از اهمیت زیادی برخوردار میباشد جریان کاتدی یا جریانی که محصول کاهش یونهای فلزی به اتمهای فلزی است. البته اگر به جای یک تک فلز یک گونه آلیاژی را لایه نشانی کنیم باید این نکته را در نظر المی مینای می یابد. آنچه که در کونه آلیاژی را لایه نشانی کنیم باید این نکته را در نظر المیت زیادی است. البته اگر به جای یک تک فلز یک گونه آلیاژی را لایه نشانی کنیم باید این نکته را در نظر بگیریم که جریان آندی یا جریانی که محصول کاهش یونهای فلزی به اتمهای فلزی است. البته اگر به جای یک تک فلز یک گونه آلیاژی را لایه نشانی کنیم باید این نکته را در نظر بگیریم که جریان آندی یا جریانی که محصول اکسایش اتمهای فلزی است نیز از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا ممکن است در محدودهای که یک گونه کاهش مییابد گونه دیگر اکسید شود. در شکل ۱–۳


۱–۱۳– مد کرونوکولومتری⁽ (CHC)

جهت انباشت و رشد لایه مورد نظر میتوان از مد کرونو کولومتری استفاده نمود. این مد بر این اساس کار می کند که یک پتانسیل ثابت را از دستگاه به عنوان ورودی می گیرد و با اعمال این پتانسیل سیستم شروع به کار می کند. با گذشت زمان جریان شروع به رشد کرده تا به یک حد نهایی رسیده و از اینجا به بعد با نوسان ناچیزی تا پایان کار در همین جریان باقی می ماند. آنچه که کامپیوتر ثبت می نماید نمودار جریان بر حسب زمان می باشد. با انتگرال گیری لحظه به لحظه جریان به زمان بار اندازه گیری شده در هر لحظه محاسبه می گردد و با توجه به قانون فارادی می توان ضخامت لایه تشکیل شده را محاسبه نمود. نمودار جریان بر حسب زمان لایه نازک کبالت انباشت شده به روی زیرلایه آلومینیوم در مد CHC در شکل ۱–۴ نشان داده شده است.



شکل ۱-۴- نمودار جریان بر حسب زمان لایه نازک کبالت انباشت شده به روی زیرلایه آلومینیوم در مد CHC.

¹ Chronocoulometry

فصل دوم

مروری بر کارهای انجام شده

- ا مقدمه
- ا مروری بر کارهای انجام شده
 - ا لايه نازک
 - ا زیرلایه
 - ا خواص زیر لایه ها 🛠
 - ا روآراستی
 - ا مدرشد
 - ا خواص مغناطیسی

۲-۱- مقدمه

کبالت عنصر فلزی سخت، براق و شکننده به رنگ سفید-نقرهای است. این عنصر در سال ۱۷۳۷ توسط دانشمند سوئدی گئورگی برندت^۱ کشف گردید. این عنصر از لحاظ خواص فیزیکی شبیه به نیکل و آهن میباشد. از نظر شیمیایی عنصری فعال است. این عنصر به ندرت به صورت غیر ترکیبی در طبیعت یافت میشود اما غالباً به صورت فلز درخشان یافت میشود. این عنصر یکی از اجزاء سازنده سنگهای معدنی کبالتیت و سایر کانیهای دیگر میباشد. فلز کبالت خالص از طریق احیاء ترکیباتش توسط آلومینیم، کربن یا هیدروژن بدست میآید.

ضریب نفوذپذیری^۲ کبالت دو سوم آهن میباشد. ترکیب کبالت با آهن و نیکل آلیاژی را به نام آلنیکو میسازد که ترکیبی با خاصیت مغناطیسی قوی است و کاربرد زیادی دارد. استلینها که آلیاژهای سخت جهت ساختن موتورهای پیستونی هستند شامل کبالت، کروم و تنگستن میباشند. همچنین از این آلیاژ برای لوازم و تجهیزات برشی حرارت بالا و برای قالبگیری استفاده میشود. کبالت همچنین در فولادهای مغناطیسی، فولاد ضد زنگ و آلیاژهایی که در توربینهای جت و ژنراتور توربینهای گازی مورد استفاده قرار میگیرد بکار میرود. این فلز همچنین برای آبکاری الکتریکی استفاده میشود زیرا دارای سختی بالا و مقاوم در برابر اکسید شدن میباشد.

نمکهای کبالت برای تولید سرامیکهای با رنگ آبی ثابت، شیشه ، سفال، کاشیها و میناکاری استفاده می شود. معمولاً کبالت به صورت کلرید، استات یا نیترات مورد استفاده قرار می گیرد. از آنجایی که کبالت به طور گسترده در محیطهای مختلف وجود دارد، با تنفس هوا، آشامیدن آب و خوردن غذاهایی که حاوی کبالت هستند، مقداری کبالت وارد بدن انسان می شود. تماس پوست با خاک یا آب دارای کبالت نیز راه دیگر ورود کبالت به بدن انسان می باشد.

¹ George Brandt

² Permeability

لایههای فرومغناطیسی فلزهایی مانند نیکل، آهن، کبالت و آلیاژهایشان کاربردهای فراوانی درتکنولوژی ساخت حسگرها، هدهای مغناطیسی و سیستمهای ذخیره اطلاعات دارد که در ادامه به لایههای نازک کبالت میپردازیم.

ساختارهای لایه نازک کبالت و کبالت گونه علاقه ی بسیاری از محققان را به دلیل کاربردهای فراوان در تکنولوژی [۶–۱۰] نظیر حسگرها^۱ و قطعات ذخیره اطلاعات مغناطیسی^۲، ساخت اتصال دهندههای الکتریکی^۲ در قطعههای میکرو الکترونیکی^۲، قطعات اسپینترونیکی^۵ که به یک ماده به عنوان منبعی از التکرونهایی با اسپینهای قطبیده^۶ دارای ساختارهای بلوری و ثابت شبکه یکسان نیاز دارد به خود جذب کرده است. علاوه بر این، چنین ساختارهایی با ترکیبات مغناطیسی از لایههای فرومغناطیسی همراه با زیرلایههای نیمرسانا با خواص الکترونیکی فرصت چشمگیری برای طراحی قطعات مغناطو -ترابردی^۷ در آینده ایجاد کرده است. برای مثال، در بیشتر قطعات دارای مغناطو مقاومت بزرگ^۸ (GMR)، کبالت نقش مهمی به علت قطبیدگی بالای اسپین الکترونها در تراز فرمی بازی میکند [۱۱]. بنابراین فهم سیر تکاملی رشد و میکرو-ساختار^۴ لایههای نازک کبالت، تطابق ساختار بلوری و بستگی خواص مغناطیسی و ترابردی آن از جاذبههای بزرگ از نظر تکنولوژی میباشد.

در مورد خواص عمومی Co میتوان به چند نکته اشاره کرد. Co دارای دو ساختار پایدار تودهای متفاوت hcp ^{۱۰} و fcc ^{۱۰} میباشد. اندازه ثابتهای شبکهی a و c آنها در ساختار hcp به ترتیب برابر با Å ۲/۵۰۷ و ۴/۰۶۵ Å ۴/۰۶۵ است [۱۲] در حالی که ثابت شبکه a در ساختار ۳/۵۱ Å ۴۰۶۵ گزارش شده است

¹ Sensors

² Magnetic data storage devices

³ Electrical contacts

⁴ Micro-Electronic devices

⁵ Spintronic devices

⁶ Spin polarized

⁷ Magneto-Transport devices

⁸ Gaint Magnetoresistance

⁹ Micro-Structure

¹⁰Hexagonal close-packed

¹¹ Face Center Cubic

[۱۳]. عنصر کبالت در جدول تناوبی در همسایگی عنصر Ni قرار گرفته است و از لحاظ مغناطیسی، فرومغناطیس به شمار می رود.

۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده

تحقیقات فراوانی بر روی لایه نازک کبالت و عناصر کبالت گونه انجام شده است که در زیر به بعضی از آنها و مختصری از نتایج حاصله اشاره می شود.

مطالعه خواص ترابردی، ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت و تاثیر دمای بازپخت روی آن توسط شارما^۱ و همکارانش به انجام رسید [۱۴]. در این کار لایه نازک کبالت به روش کندوپاش باریکه یونی^۲ بر روی شیشه تهیه گردید. آنها دو سری نمونه را مورد بررسی قرار دادند. یکسری نمونههایی که به حالت معمولی لایه نشانی شدند و سری دیگر نمونههایی که بعد از لایه نشانی در دماهای مختلف بازپخت^۳ شدند. با دقت در پراش اشعه ایکس نمونههای رشد داده شده ملاحظه میشود که با انجام بازپخت، ساختار نمونهها با افزایش دمای بازپخت از کیفیت بهتری برخوردار میشود. در شکل ۲–۱ پراش اشعه ایکس (XRD) این نمونهها نشان داده شده است.

با دقت در شکل، در نمونهای که عمل بازپخت روی آن صورت نگرفته و نمونههایی که در ۱۰۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد بازپخت شدهاند قله قابل ذکری مشاهده نمی شود در حالی که با افزایش دمای بازپخت، یک قله با راستای ترجیهی (۰۰۲) با ساختار هگزاگونال ظاهر می گردد که نمایانگر بهبود ساختار بلوری نمونههای ذکر شده می باشد. همچنین در این مقاله، بزرگ شدن اندازه دانهها با افزایش دمای بازپخت گزارش شده است. در نهایت یک کاهش در میدان وادارندگی (H_c) تا دمای ترجیه سانتیگراد و سپس افزایش دمای بازپخت افزایش دمای بازپخت افزایش دمای بازپخت. در این مقاله، بزرگ شدن اندازه دانهها با افزایش دمای بازپخت از بازیخت از می ترد این مان بازیخت در این مقاله، بزرگ شدن اندازه دانه در می می درجه سانتیگراد و سپس افزایش دمای بازیخت افزایش در میدان وادارندگی (H_c) تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد و سپس افزایش در میدان وادارندگی (H_c) تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد و سپس افزایش در میدان وادارندگی (H_c) تا دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد و سپس

¹ Sharma

² Ion Beam Sputtering

³ Annealing



شکل ۲-۱- طرح XRD لایههای نازک کبالت بدون بازپخت و بازپخت شده در دماهای مختلف [۱۴].

عزیزی^۱ و همکارانش نیز خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه سیلیکون که به روش الکتروانباشت تهیه شده بودند را مورد مطالعه قرار دادند [۱۵]. در این مقاله محققان با استفاده از محلولهای ۱/۰ مولار سولفات کبالت، ۱۰ میلیمولار کلرید کبالت، به عنوان منابعی از یونهای فلزی، محلول ۱ مولار سولفات سدیم و ۱/۵ مولار اسید بوریک در ۲/۴= Hp، به رشد لایههای نازک کبالت پرداختند و با استفاده از پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ نیروی اتمی^۲ خواص ساختاری و مورفولوژی سطح را مورد بررسی قرار دادند. در نهایت با اعمال میدان مغناطیسی به صورت موازی و عمود بر سطح لایهها خواص مغناصیسی لایههای تهیه شده مورد تحقیق واقع شد. گزارش نمودهاند که طیف پراش اشعه ایکس، یک ساختار بلوری ضعیف تشکیل شده از دو فاز foc را با نقص تودهای نشان میدهد. همچنین اندازه گیریهای مغناصیسی در دو جهت موازی و عمود نمایانگر

¹ A.Azizi

² Atomic Force Microscopic

جهت آسان^۱ این لایهها در راستای موازی است. در شکل (۲-۲) حلقه پسماند^۲ این لایهها به نمایش درآمده است.



شکل ۲-۲- حلقههای هیسترزیس برای لایههای نازک Co با اعمال میدان مغناطیسی در دو جهت موازی و عمود به سطح لایه [۱۵].

در کاری دیگر که باز هم توسط شارما و همکارانش انجام شده است، لایه نشانی روی GaAs با جهت ترجیهی (۱۰۰) و شیشه صورت گرفته است [۱۶]. خواص ساختاری، ترابردی و مغناطیسی این لایههای تشکیل شده روی GaAs و شیشه مورد تحقیق قرار گرفت. در دو شکل ۲-۳ و ۲-۴ پراش اشعه ایکس و حلقههای پسماند این لایهها بر روی زیرلایه GaAs و شیشه نشان داده شده است. اندازه گیریهای ساختاری نمایانگر این است که لایههای تشکیل شده بر روی GaAs دارای طبیعت بلوری است در حالی که لایههای تشکیل شده بر روی شیشه دارای طبیعت میکرو بلوری میباشد و دلیل آن به کوچکتر بودن اندازه دانهها در لایههای تشکیل شده بر روی شیشه برمی گردد. از طرفی لایههای تشکیل شده بر روی

¹ Easy direct

² Hystersis loop

GaAs دارای میدان وادارندگی^۱ بزرگتر، مغناطش اشباع^۲ و مقاومت کوچکتری نسبت به لایههای تشکیل شده بر روی شیشه است.



شکل ۲-۳- (a و b) طرح پراش اشعه ایکس لایههای Co/GaAs و Co/glass].



شکل ۲-۴- (a و b) حلقههای هیسترزیس لایههای Co/GaAs و Co/Glass [۱۶].

¹ Coercivity field ² Saturated magnetism

در تحقیقی دیگر که توسط مونفورد^۱ و همکارانش انجام گردید الکتروانباشت لایههای مغناطیسی کبالت بر روی زیرلایه سیلیکون تحت بررسی قرار گرفت. الکترولیتهای مورد استفاده در این پژوهش شامل دو الکترولیت با غلظتهای متفاوت ۲۶ و ۱۰۴ میلی مولار از یونهای کبالت بود. اندازهگیری مغناطیسی نشان داد که میدان وادارندگی به شدت به ضخامت لایههای رشد داده شده وابسته است [۱۷]. خواص ساختاری، ترابردی و مغناطیسی لایه نازک کبالت رشد داده شده به روش کندوپاش باریکه یونی بر روی زیرلایههای مختلف توسط فرمنتو^۲ و همکاران مورد بررسی قرار گرفت. در این کار تاثیر لایههای بر روی زیرلایههای مختلف توسط فرمنتو^۲ و همکاران مورد بررسی قرار گرفت. در این کار تاثیر لایههای با فری A، Cu، Al و Th به ضخامت (Å^{*} ۲۰۱–۱۰) روی خواص ساختاری لایههای نازک کبالت مطالعه با فری A، Pa و Th به ضخامت (Å^{*} ۲۰۱–۱۰) روی خواص ساختاری لایههای نازک کبالت مطالعه ساختار بلوری پراش اشعه ایکس نشان داد که تنها لایههای کبالت رشد داده شده روی Ta آمورف و ساختار بلوری مشاهده نشد. همچنین به وسیله اثر مغناطو-اپتیکی کر^۳ اثبات شد که خواص مغناطیسی ساختار بلوری مشاهده نشد. همچنین به وسیله اثر مغناطو-اپتیکی کر^۳ اثبات شد که خواص مغناطیسی کبالت تابعی از ضخامت لایههای نازک میباشد در شکل زیر طیف پراش اشعه ایکس این تحقیق آورده شده است [۱۸].



شکل ۲-۵- (a) پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده به ضخامت Å ۲۰۰ بر روی زیرلایه شیشه و یا بر روی Å ۱۰۰، Ru ،Cu ،Al و Ta به صورت بافری (b) Å (b) کبالت انباشت شده بر روی Ta به صورت بافری با ضخامتهای متفاوت [۱۸].

¹ Munford

² Fermento

³ Magneto-Optical Kerr Effect

در ادامه باید به این نکته اشاره کرد که تحقیقات زیادی بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی عنصر کبالت و آلیاژهای آن صورت گرفته است که در زیر به بعضی اشاره می شود.

تاثیر دما و چگالی جریان در نانولایههای نازک W-O- به روش الکتروانباشت توسط ساسیکومار^۱ و همکاران [۱۹]، تاثیر دمای حمام^۲ بر روی مغناطش لایههای (P)-W(P) تهیه شده به روش الکتروانباشت توسط هونگ لیناگ جی^۳ و همکاران [۲۰]، مطالعه الکتروشیمیایی و مکانیسم جوانهزنی لایههای نازک کبالت رشد داده شده به روش الکتروانباشت بر روی زیرلایههای مختلف توسط سَهاری[†] (۲۱]، آمادهسازی و مشخصهیابی آلیاژهای Co–Co به روش الکتروانباشت [۲۲]، الکتروانباشت و مشخصهیابی بسلایههای oO–D0 و تاثیر لایههای انفرادی O0 و Cu روی مقدار مغناطو مقاومت بزرگ و رفتار آن توسط پاندیا^۵ [۳۳]، اندازه گیری مغناطو مقاومت بزرگ روی لایههای آلیاژی x–I) رفتار آن توسط پاندیا (۲۳]، اندازه گیری مغناطو مقاومت بزرگ روی لایههای آلیاژی x–I) رفتار آن توسط پاندیا (۲۳]، اندازه گیری مغناطو مقاومت بزرگ روی لایههای آلیاژی x–I) رفتار آن توسط پاندیا (۲۳]، اندازه گیری مغناطو مقاومت بزرگ روی لایههای آلیاژی x–I) رفتار آن توسط پاندیا (۲۳]، اندازه گیری مغناطو مقاومت بزرگ روی لایههای آلیاژی x–I) رفتار آن توسط پاندیا (۲۳]، اندازه گیری مغناطو مقاومت بزرگ روی لایههای آلیاژی x–I) رفتار آن توسط پاندیا (۲۳]، اندازه کیری مغناطو مقاومت بزرگ روی لایههای آلیاژی (۲۰۵]، (۲۰]، الکتروانباشت (۲۳]، اندازه کیری مغناطو مقاومت بزرگ روی میکروساختار و مغناطو مقاومت لایههای رفتار آن توسط پاندیا (۲۲]، اندازه کیری مغناطو مقاومت بزرگ روی میکروساختار و مغناطو مقاومت لایههای الکتروانباشت شده آلیاژی Co–Co (۲۵] و مطالعه لایههای فوق نازک کبالت بر روی زیر لایه سیلیکون (۲۶] از جمله تحقیقات انجام پذیرفتهاند. در ادامه به بحث مختصری از فیزیک لایه نازک پرداخته می شود.

۲-۳- لایه نازک

عموماً لایهی نازک بر روی یک نگه دارنده به نام زیرلایه^{⁷ قرار دارد. ساختمان زیرلایه و لایه نازک نسبت به یکدیگر به طور شماتیک در شکل ۲-۶ آمده است.}

⁶ Substrate

¹ Susikumar

² Bath temperature

³ Hongliang Ge

⁴ A. Sahari

⁵ D.K Pandya



شكل ۲-۶- شماتيكي از ساختمان زيرلايه ولايه نازك نسبت به يكديگر.

لایه از ک توسط روش های مختلف لایه نشانی مانند روش های تبخیر در خلاء، کندوپاش ^۱، لیزرپالسی^۲ (PLD)، روآراستی پرتوی مولکولی^۳ و روش الکتروانباشت بر روی سطح زیرلایه انباشت می شود. به عبارت دیگر ماده یا موادی به صورت پوشش دو بعدی بر روی سطح زیرلایه انباشت می شود به طوری که مجموعه یاین سیستم (زیرلایه + لایه نازک) خواصی را از خود نشان می دهند که ذاتاً متفاوت از خواص لایه و یا زیرلایه به تنهایی است. لایه های مختلف از نظر ضخامت عمدتاً به سه گروه تقسیم می شوند: الف) لایه های فوق نازک با ضخامت کمتر از Å ۵۰. ب) لایه های نازک با ضخامت بین Å ۵۰ تا Å ۵۰. ج) لایه های ضخیم با ضخامت بیش از Å ۵۰. با توجه به رشد لایه نازک بر روی زیرلایه می توان دریافت که زیرلایه در لایه نشانی از اهمیت ویژه ای برخودار است. بنابراین ابتدا زیرلایه و ویژگی های مورد انتظار آن مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

¹ Sputtering

² Pulse Laser Deposition

³ Molecular Beam Epitaxy

۲-۴- زيرلايه

با توجه به لایهنشانی لایه نازک بر روی زیرلایه و نوع کاربرد لایههای نازک ایجاده شده، زیرلایه میتواند از مواد مختلفی چون شیشه، سرامیک، نیمرسانا، فلز و غیره انتخاب شود که درمورد الکتروانباشت این زیرلایهها فقط به رساناها و نیمرساناها محدود میشوند. زیرلایهها دارای خواصی هستند که انتخاب مناسب آنها باعث بالا رفتن کیفیت و عملکرد دلخواه لایههای نازک میشود. بنابراین برای تولید لایههای نازک با کیفیت ساختاری بسیار بالا و دارای رشد روآراستی کافی است زیرلایهی مناسبی انتخاب گردد. بنابراین اطلاع از خواص زیرلایه میتواند در این انتخاب کمک بسزایی نماید.

۲-۵- خواص زیرلایهها

به طور خلاصه مهمترین خواص زیرلایهها عبارتند از خواص سطحی، حرارتی، شیمیایی، مکانیکی و خواص حالت جامدی که هر یک به صورت مختصر شرح داده خواهد شد.

۲-۵-۱- خواص سطحی

چون لایه بر سطح زیرلایه انباشت می شود لازم است که سطح زیرلایه عاری از هر گونه آلودگی، ناخالصی و ناهمگنی باشد و میزان خلل و فرج این سطح به حداقل ممکن برسد. به همین منظور باید سطح زیرلایه قبل از لایه گذاری کاملاً تمیز و هموار گردد.

۲-۵-۲- خواص حرارتی

به منظور جلوگیری از پاره شدن و یا چروک شدن لایه، ضریب انبساط گرمایی لایه نازک و زیرلایه باید به هم نزدیک باشند و نباید نسبت به یکدیگر اختلاف زیادی داشته باشند. همچنین بالا بودن ضریب انبساط گرمایی زیرلایه و مقاوم بودن آن در برابر شوک حرارتی از دیگر ویژگی های حرارتی زیرلایه ها محسوب می شود.

۲-۵-۳- خواص شیمیایی

با توجه به این که احتمال وقوع واکنش شیمیایی بین لایه و زیرلایه در هنگام لایهنشانی و همچنین پس از آن وجود دارد، بنابراین زیرلایه باید چنان انتخاب شود که از لحاظ شیمیایی نسبت به لایهی نازک تقریباً خنثی باشد.

۲-۵-۴- خواص مکانیکی

چون زیرلایه بار مکانیکی لایههای پوششی را تحمل میکند باید از استحکام مکانیکی بالایی برخوردار باشد. به علاوه لایه نازک و زیرلایه باید خاصیت ارتجاعی نزدیک به هم داشته باشند. ترد و شکننده بودن زیرلایه باعث میشود که لایههای نازک تشکیل شده دستخوش مشکلات مکانیکی گردند. این مشکلات ممکن است، قبل، بعد و یا در هنگام رشد لایههای نازک به وجود آیند.

۲-۵-۵- خواص حالت جامدی

علاوه بر این خواص، خواصی مانند روآراستی، مد رشد لایه و قوانین حاکم بر رشد لایه و ناهماهنگی ثابت شبکه زیرلایه و لایه که منجر به پدید آمدن انرژی کشش^۱ می شود نیز تأثیر بسزایی بر خواص و ساختار لایه دارد.

¹ Tensile energy

۲-۶- روآراستی

کلمه روآراستی، رشد جهت یافته ی یک بلور روی بلوری دیگر را توصیف می کند. هنگامی که لایه و زیرلایه از یک نوع ماده باشند روآراستی همگن^۱ و در غیر این صورت روآراستی ناهمگن است. سیستمهایی با روآراستی همگن به عنوان مدلی ساده جهت درک اساسی سینماتیک رشد مورد بررسی قرار می گیرند اگر چه در عمل لایه ها دارای روآراستی ناهمگن می باشند. به عنوان نمونه در لایه های نازک مغناطیسی لایه و زیرلایه باید با هم متفاوت باشند یعنی هیچگاه از رشد روآراستی همگن برای تولید لایه های فوق نازک مغناطیسی استفاده نمی شود[۲۷]. رشد روآراستی در مراحل اولیه ی رشد لایه، با هسته بندی سه بعدی صورت می گیرد. ممکن است با افزایش ضخامت لایه و جهت گیری متفاوت و دوباره ی هسته ها جهت روآراستی نیز تغییر کند. به طور کلی روآراستی به عوامل مختلفی مانند بافت زیرلایه، دمای زیرلایه، آهنگ انباشت، ضخامت لایه، اثرات میدان الکتریکی و روش انباشت بستگی دارد. جهت، میزان کاملی و شرایط انباشت برای رشد روآراستی مادهای خاص از زیرلایه ای به زیرلایه ی دیگر و نیز با زیرلایه ای و شرایط انباشت برای رشد روآراستی ماده ای خاص از زیرلایه ای به زیرلایه ی دیگر و نیز با زیرلایه ای خاص و انباشت برای رشد روآراستی ماده ای خاص از زیرلایه ای به زیرلایه ی دیگر و نیز با زیرلایه ای خاص و انباشت برای رشد روآراستی ماده ای خاص از زیرایه می به می به ماده ی دیگر و نیز با زیرلایه ای خاص و انباشت برای رشد روآراستی ماده ای خاص از زیرلایه ای به زیرلایه ی دیگر و نیز با زیرلایه ای خاص و انباشت برای رشد روآراستی ماده ای خاص از زیرلایه ای به زیرلایه و دیگر و نیز با زیرلایه ای خاص و

۲-۷- مد رشد

لایههای نازک بسته به کاربرد خاص خود میبایست دارای مورفولوژی سطحی متفاوتی باشند. برای مثال در تولید وسایل ذخیرهسازی مغناطیسی سطح لایه باید از نظر اتمی صاف باشد اما لایههای نازکی که به عنوان کاتالیزورهای ناهمگن مورد استفاده قرار می گیرند باید دارای سطحی ناصاف باشند که اندازه و چگالی جزیرهها در آنها به خوبی تعریف شده باشد. معمولاً دستکاری مورفولوژی لایههای رشد کرده به صورت روآراستی، از طریق کنترل دقیق شرایط رشد صورت می گیرد. برای رسیدن به چنین هدفی اولین

¹ Homogeneous epitaxy

نگرانی کنترل مد رشد است. مد رشد، خصوصیات هستهبندی و رشد را مشخص میکند به طوری که این مد به مورفولوژی سطح بستگی دارد [۲۷]. غالباً سه مد رشد وجود دارد که عبارتند از:

-۱-۷-۲ مد رشد Frank-Van der Merwe

در این نوع رشد، (n+1) امین لایه درست پس از اینکه رشد لایه (n) ام کامل شده است شروع می شود. بنابراین به آن رشد لایه به لایه نیز گفته می شود. واضح است که برای رشد لایه به لایه، هسته بندی دو بعدی یک پیش نیاز به شمار می آید. رشد لایه به لایه ناقص که در آن رشد (n+1) امین لایه قبل از به اتمام رسیدن رشد لایه (n) ام شروع می شود نیز دائماً به چشم می خورد. در مواردی که لایه هایی با سطح صاف مورد نظر است این مد رشد، بهترین مد موجود است. در این مد رشد، وابستگی اتم های الحاقی به زیر لایه بیش از وابستگی آنها به یکدیگر می باشد [۲۹].

۲-۷-۲ مد رشد Volmer-Weber

این نوع رشد، رشد سهبعدی جزیرهها روی زیرلایه میباشد و هنگامی رخ میدهد که وابستگی اتمهای الحاقی به زیرلایه کمتر از وابستگی آنها به یکدیگر میباشد [۲۹].

۳-۷-۲ مد رشد Stranski-Krastanov

این نوع رشد، حالت جالب بینابینی است و در سیستمهایی مشاهده می شود که در ابتدا به صورت لایه به لایه رشد کردهاند و سپس به ازای ضخامتهای مشخصی به بالا جزیرههای سهبعدی در آنها رشد مینمایند. می توان به سادگی آن را به صورت مد لایه به لایه به اضافه جزیره توصیف کرد [۲۹]. این سه مد رشد که به صورت شماتیک در شکل ۲-۷ نشان داده شده اند رشدی متفاوت بر روی زیرلایههای صاف را توصیف میکنند، اگرچه زیرلایههای واقعی همیشه دارای نقصهایی میباشند. به طور کلی نوع رشد روآراستی لایه اعم از لایه به لایه، جزیرهای و یا لایه به لایه به اضافه جزیرهای، توسط انرژی سطحی و سینماتیک فرآیند انباشت تعیین می گردد.



شکل ۲-۷- انواع متفاوت رشد لایههای نازک: مورفولوژی یک لایه در حال رشد برای الف) مد لایه بهلایه ب) لایه بهلایه به اضافه جزیره ج) مد جزیره. N تعداد تکلایههاست [۲۹].

مد رشد دیگری نیز وجود دارد که معمولاً در دمای بالا مشاهده می شود و در ادامه به عنوان چهارمین مد رشد معرفی می گردد.

۲-۷-۲ مد رشد Step-Flow

در دمای بالا و ولتاژ نسبتاً پایین حرکتپذیری اتمهای الحاقی میتواند بسیار زیاد باشد. در این صورت روی یک سطح واقعی همه اتمهای الحاقی انباشت شده به لبهی پلههای موجود از قبل میرسند و قبل از این که هستههای پایداری تشکیل دهند در آنجا به دام میافتند. بنابراین رشد با عدم حضور هستهبندی مناسب و وجود پلهها مشخص میشود. این مد رشد، مد رشد ها Step-Flow نامیده میشود [۲۹].

۲-۸- خواص مغناطیسی

در این بخش به معرفی بعضی از مفاهیم مغناطیسی می پردازیم که در این پایان نامه با آن مواجه می شویم.

۲-۸-۲ مغناطش

حرکت مداری الکترون مدار کوچک بستهای را به ابعاد اتمی ایجاد میکند که میتوان آن را به صورت یک دوقطبی مغناطیسی توصیف کرد. از طرفی میدان مغناطیسی که هر اتم در دور دست تولید میکند تنها با مشخص کردن گشتاور دوقطبی مغناطیسی آن، m، تعیین میشود.

اگر گشتاور مغناطیسی متوسط هر اتم یا مولکول m و N تعداد اتمها یا مولکول ها در واحد حجم باشد، مغناطش M یک ماده را می توان به صورت گشتاور مغناطیسی بر واحد حجم تعریف کرد.

$$M = Nm \tag{1-T}$$

از آنجایی که مواد مغناطیسی بر اساس پذیرفتاری^۲ وتراوایی^۲ آنها طبقه بندی میشوند، در اینجا تعریفی از دو پارامتر ارائه میشود:

تراوایی طبق رابطهی زیر به القاء و شدت مغناطیسی وابسته است.

$$\mu = \frac{B}{H}$$
 (۲-۲)
از طرفی پذیرفتاری χ بر اساس مغناطش M و شدت H تعریف می شود:
 $\chi = \frac{M}{H}$ (۲-۳)

¹ Susceptibility

² Permeability

البته تعریف فوق برای میدان dc است. برای میدان ac پذیرفتاری به صورت رابطه (۲-۴) تعریف می شود:

$$\chi_{ac} = \frac{dM}{dH} \tag{(f-T)}$$

که دارای دو مؤلفهی حقیقی $^{\chi'}$ و موهومی $^{\chi'}$ است.

پذیرفتاری مغناطیسی، پاسخ مادهی مغناطیسی به میدان اعمالی است که این پاسخ مربوط به رفتار الکترونها در حضور میدان است. الکترون در حال حرکت یک میدان دوقطبی را ایجاد میکند و میتوان گفت که میدان مغناطیسی با این گشتاور دوقطبی الکترون برهمکنش میکند

۲–۸–۲ دسته بندی مواد از لحاظ مغناطیسی

مواد بر اساس چگونگی پاسخ گویی آنها به میدان مغناطیسی خارجی و نظم مغناطیسی[']، به مواد دیامغناطیس^۲، پارامغناطیس^۳، فرومغناطیس¹، پادفرومغناطیس^۵ و فریمغناطیس^۶ تقسیم میشوند [۳۰].

۲-۸-۲-۱ یارامغناطیس

اتمی که لایههای آن کاملاً پر نیست یک گشتاور مغناطیسی دارد که از سهم حرکتهای مداری و اسپینی الکترونهایش ناشی میشود. موادی که از این اتمها ایجاد میشوند از خود خاصیت پارامغناطیسی نشان میدهند. معمولاً اتمها یا مولکولهایی که دارای تعداد الکترونهای فرد هستند، یک اسپین الکترونی غیر جفت و یک گشتاور مغناطیسی خالص دارند.

⁵ Antifrromagnetism

¹ Ordering magnetism

² Diamagnetism

³ Paramagnetism

⁴ Frromagnetic

⁶ Frrimagnetism

پارامغناطیس رفتار موادی را که گشتاورهای مغناطیسی آنها جایگزیده هستند اما برهمکنش بین آنها قوی نیست، توضیح میدهد. برای توجیه پدیدهی پارامغناطیس میتوان از تئوری لانژوین ^۱ استفاده کرد. پذیرفتاری به صورت

$$\chi = \frac{C}{T} \tag{(\Delta-T)}$$

به دست میآید که به معادلهی کوری^۲ معروف میباشد. در رابطه فوق C ثابت کوری^۲ میباشد. این معادله بیان میکند که پذیرفتاری به صورت معکوس با دما برای پارامغناطیسها تغییر میکند [۳۲].

۲-۸-۲-۲- فرومغناطیس

مواد فرومغناطیس موادی هستند که در مجاورت میدان، مغناطیده میشوند و مربوط به مغناطش خود به خودی است. در مواد فرومغناطیس به دلیل برهمکنش بین گشتاورهای مغناطیسی، کسر قابل توجهی از گشتاورهای مغناطیسی مولکولی در جهت ارجحی از بلور به دنبال هم قرار میگیرند. پدیدهی فرومغناطش فقط در دماهای پایین تر از دمای معینی ظاهر می گردد. این دما، دمای گذار فرومغناطیسی و یا به بیان ساده تر دمای کوری نامیده می شود. این دما به نوع ماده ی فرومغناطیسی بستگی دارد. بالای دمای کوری، گشتاورهای مغناطیسی به طور کاتوره ای جهت گیری می شوند، در نتیجه مغناطش کل صفر می شود. در این ناحیه ماده پارامغناطیس می شود و پذیرفتاری آن با رابطهی زیر بیان می گردد:

$$\chi = \frac{C}{T - T_C} \tag{F-T}$$

که به قانون کوری وایس موسوم[†] است. ثابتC، ثابت کوری و T_c دمای کوری نامیده میشوند.

³ Curie constant

¹ Langevin theory

² Curie equation

⁴ Curie-Weiss law

این معادله نشان می دهد اگر دما کم و به T_c نزدیک شود، یک واگرایی در χ به وجود می آید و این نشان دهنده یک گذار به فاز فرومغناطیس است. در ناحیه ی دماهای $T < T_c$ ، مغناطش خود به خودی همان مغناطش اشباع می شود. با کاهش دما، مغناطش افزایش می یابد و در دمای T < 0 K به بیشینه

میرسد. بنابراین با کاهش دما دوقطبی های بیشتری در جهت مغناطش قرار میگیرند [۳۱].

فرومغناطیسها دارای نواحیِ بسیار کوچک (کوچکتراز دانههای بلوری) با مغناطش خودبهخودی هستند. منظور از مغناطیدگی خودبهخودی، مغناطیدگی ِخالصی است که به طور یکنواخت در حجم میکروسکوپی و در غیاب میدان، ایجاد میشود و در دمای صفر مطلق به اسپین مربوط است. در داخل هر ناحیه، گشتاورهای مغناطیسی مربوط به حرکت مداری و اسپینیِ الکترونها در اتمهای مختلف به طور خودبهخودی در راستای مشخصی که مربوط به برهمکنش آنها میشود، مرتب شدهاند. در شکل زیر شماتیکی از موازی شدن گشتاورهای مغناطیسی اتمی نشان داده شده است.



شکل ۲-۸- موازی شدن گشتاورهای مغناطیسی اتمی.

سمت گیری این نواحی که حوزه نامیده می شوند به صورت کاتوره ای است به طوری که در شرایط عادی به نظر می آید، ماده هیچ گشتاور مغناطیسی ندارد. شماتیکی از نواحی یا حوزه های مغناطیسی در یک ماده فرومغناطیس در شکل ۲–۹ نشان داده شده است.



شکل ۲-۹- نواحی یا حوزههای مغناطیسی در یک ماده فرومغناطیس.

 شده بر روی زیرلایه آلومینیوم نشان داده شده است. مغناطش اشباع، مغناطش باقیمانده و میدان و اردان و میدان و وادارندگی به ترتیب با M_r ،M_s و م



شکل ۲-۱۰-نمودار حلقه پسماند نمونهای از لایه نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیوم در این پروژه.

۲-۸-۲-۳- پاد فرومغناطیس

پادفرومغناطیس در تعدادی از ترکیباتی که شامل فلزات واسطهاند بروز می کند [۳۱]. انرژی تبادلی^۱ به فاصلهی یونهای مغناطیسی بسیار حساس است و به نظر میرسد برای اینکه این انرژی، هنگامی که اسپینهای همسایه موازیند مینیمم باشد شرایط نسبتاً خاصی لازم است. در بیشتر موارد، انرژی تبادلی وقتی مینیمم میشود که اسپینهای همسایه پادموازی باشند. همخطی اسپینها در آرایهی پاد موازی نیز یک گذار حجمی است و در دمایی رخ میدهد که دمای نیل^۲، ۲_۰، نامیده میشود. این پدیدهی

¹ Exchange energy

² Neel temperature

پادفرومغناطیس است. میتوان تصور کرد که گشتاورهای منظم شده در دو زیرشبکهی^۱ مشابه در هم فرو رفته قرار دارند، به طوری که گشتاورها در هر یک از آنها با هم موازیند، ولی اسپینهای یک زیرشبکه، با اسپینهای زیرشبکهی دیگر پادموازی است.

چون در شروع خاصیت پادفرومغناطیسی، مغناطیدگی خالصی وجود ندارد، گذار مانند فرومغناطیسها قابل ملاحظه نیست. اما پراش نوترون^۲ به روشنی قوی شدن برخی قلهها و تشکیل برخی دیگر را در دمای T_N به خاطر نظم مغناطیسی نشان میدهد. اگر این دو زیرشبکه از نظر مغناطیسی مشابه یکدیگر باشند، در غیاب میدان خارجی گشتاور مغناطیسی کل صفر خواهد بود [۳۰].

۲-۸-۲-۴ فریمغناطیس

در برخی از بلورها که ساختار پیچیدهای دارند، بزرگی گشتاورهای مغناطیسی دو زیرشبکه دقیقاً یکسان نیست. در نتیجه، وقتی همخطی پادموازی خود به خودی رخ میدهد، ماده به جای داشتن گشتاور مغناطیسی صفر، یک مغناطیدگی خالص دائمی خواهد داشت. این پدیده خاصیت فریمغناطیس نامیده میشود.

این مواد هنگامی که مغناطیده میشوند رفتارشان خیلی شبیه به فرومغناطیسها میشود. این مواد ساختار حوزهای دارند و خواصشان را میتوان با استفاده از نظریهی امواج اسپینی بررسی کرد. رفتار مغناطیدگی اشباعی آنها به صورت تابعی از دما بسیار پیچیده است، زیرا، گشتاورهای مغناطیسی این دو زیرشبکهی ناهم ارز معمولاً وابستگی دمایی یکسانی ندارند [۳۱]. خاصیت فریمغناطیسی هم مانند فرومغناطیسی با افزایش دما در یک دمای معینی از بین میرود که دمای گذار، دمای نیل، نام دارد. بالای این دما، ماده پارامغناطیس است و پذیرفتاری با رابطهی ۲-۷ بیان میشود:

¹ Sublattice

² Neutron Diffraction

$$\chi = \frac{C}{T + T'_N} \tag{Y-Y}$$

و T'_{N} ثابتهایی هستند که به مادهی مورد نظر بستگی دارد. C

۲-۸-۲-۵- دیا مغناطیس

برخی مواد نمی توانند رفتار پارامغناطیس یا فرومغناطیس داشته باشند. در این نوع مواد، پوستهی آخر اتمها پر می باشد و بنابراین گشتاور مغناطیسی خالص ندارند. وقتی به جسم یک میدان مغناطیسی اعمال می شود در داخل آن مغناطش مخالف با میدان ایجاد می شود که با قانون لنز توضیح داده می شود. بنابراین پذیرفتاری آنها منفی و البته بسیار کوچک است. پذیرفتاری دیا مغناطیس ها مستقل از دما می باشد [۳۳].

۲–۸–۳– ساختار حوزه'

وجود یک میدان داخلی تبادلی قوی در مواد فرومغناطیس باید آنها را تا حد اشباع مغناطیده کند. اما در عمل این حالت وجود ندارد. این عدم توافق بین تئوری و تجربه توسط وایس با این پیشنهاد که مواد فرومغناطیس به نواحی مجزای بسیاری تقسیم میشوند برطرف گردید. این نواحی که هر کدام تا حد اشباع مغناطیده می گردند حوزه^۲ نامیده می شوند. با توجه به آنکه سیستم تمایل به داشتن حداقل انرژی مغناطیسی را دارد بنابراین جهت گیری حوزهها در ماده در کترهای ترین حالت توزیع می گردد به گونهای که در غیاب میدان مغناطیسی خارجی سیستم هیچ مغناطش خالصی نخواهد داشت [۳۴].

¹ Domain structure

² Domain

۲-۸-۴ دیوارههای حوزه (دیواره بلوخ^۲)

حوزهها در مواد فرومغناطیس توسط یک لایه واسطه به ضخامت چندین اتم به نام دیواره حوزه از هم جدا میشوند. بلوخ اولین کسی بود که در سال ۱۹۳۲ به طور تئوری آنها را بررسی نمود بدین مناسبت این دیوارهها به دیوارههای بلوخ نامگذاری شد. آنچه که رفتار یک ماده فرومغناطیس و مغناطش آن را در برابر اعمال میدان خارجی معین مینماید حوزهها و دیوارههای آنها میباشد. ضخامت دیواره و جهت دیواره بلور دو عاملی میباشند که انرژی دیوارهها رامشخص میکنند.

به طور کلی یک روش برای توصیف دیوارهها در نظر گرفتن زاویه بین دو اسپین مجاور دو طرف یک دیواره است. اگر زاویه ۱۸۰ درجه باشد به آن دیواره ۱۸۰ درجه و اگر غیر از آن باشد به آن دیوار ۹۰ درجه میگویند (خواه واقعا ۹۰ درجه باشد یا نباشد). در اثر افزایش میدان مغناطیسی خارجی بر روی یک ماده فرومغناطیس، مغناطش آن به دو صورت زیر میتواند افزایش یابد:

با حرکت دیوارهها در جهتی که منجر به افزایش حجم حوزههایی می شود که انطباق بیشتری با جهت میدان خارجی دارند.

چرخش مغناطش حوزه در جهت میدان مغناطیس خارجی.

در میدانهای خارجی ضعیف افزایش مغناطش معمولا ^{*}با حرکت دیواره حوزه همراه است. در مواد خالصی که فقط شامل یک فازند حرکت دیواره تا حدود زیادی در ناحیه میدان ضعیف برگشت پذیر است. در میدانهای قوی تر مغناطید گی با حرکت برگشت ناپذیر دیواره و سرانجام با چرخش حوزه انجام می شود. در این حالت ها وقتی میدان حذف می شود ماده به صورت مغناطیده باقی می ماند.

¹ Bloch wall

۲–۸–۵– دیواره نیل'

در لایه های نازک به دلیل ملاحظات انرژی موقعی که ضخامت لایه از مرتبه ضخامت دیواره می شود اسپین در صفحه لایه که عمود بر صفحه دیواره است می چرخد، در حالیکه در حالت های حجمی اسپین در صفحه دیواره که عمود بر صفحه لایه است می چرخد. در اینجا دیوار را دیواره نیل می نامند.

۲-۸-۶ ناهمسانگردی مغناطیسی

وقتی یک نمونه فرومغناطیسی در میدان مغناطیسی قرار می گیرد مغناطیده می شود. با افزایش میدان خارجی سرانجام ماده به مغناطش اشباع می رسد. اما شدت میدان خارجی برای رساندن ماده به اشباع مغناطیسی در راستاهای مختلف یکسان نیست. به بیان دیگر در مواد مغناطیسی، جهتهایی وجود دارد که ماده تمایل دارد در آن راستا، مغناطیده شود و جهتهایی وجود داردکه ماده درمقابل مغناطیدگی مقاومت می کند و به سختی مغناطیده می شود، یعنی در مغناطش ماده، در درون آن جهتهای ترجیهی وجود دارد. وجود چنین جهتهایی به معنی ناهمسانگردی مغناطیسی است. ناهمسانگردی مغناطیسی روی شکل نمودار پسماند اثر می گذارد و پذیرفتاری را تغییر می دهد. ناهمسانگردی انواع گوناگونی دارد که عبارتند از :

ناھمسانگردى بلورى.

ناھمسانگردی تنشی.

¹ Neel wall

۲-۸-۶-۱- ناهمسانگردی بلوری

در بلورها، راستاهای مغناطش همارزش نیستند. راستایی را که ماده براحتی مغناطیده می شود محور مغناطش آسان^۱ و راستایی را که ماده در برابر مغناطیده شدن مقاومت می کند، محور مغناطش سخت^۲ می نامند. راستای بین این دو را راستای مغناطش متوسط می نامند.

۲-۸-۲- ناهمسانگردی تنشی

ناهمسانگردی تنشی، بخاطر مغناطیده شدن ماده و تغییر ابعاد آن ایجاد می شود. اگر ناهمسانگردی تنشی از سایر ناهمسانگردی ها بزرگتر باشد، می تواند سبب ایجاد محور آسان مغناطش در جهت مورد نظر گردد.

¹Easy direction

²Hard direction

فصل سوم

ادوات مشخصه یابی و مروری بر کارهای آزمایشگاهی

- الله معرفی ادوات مشخصهیابی نمونهها
- ا مراحل رشد لایههای مطالعه شده

۳-۱- معرفی ادوات مشخصه یابی نمونهها

XRD) ^۱-۱-۱-۳ پراش اشعه ایکس^۱ (XRD)

پراش اشعه ایکس از نمونههای رشد داده شده یک تکنیک قوی است که میتواند اطلاعاتی مفید در مورد ساختار و کیفیت ساختاری مواد بلوری را در اختیار قرار دهد. یک ساختار عبارتست از یک آرایه سه بعدی از اتمها که میتوان آن را شامل یک پایه بعلاوه شبکه بلوری در نظر گرفت. پایه در این شبکه میتواند شامل یک یا چند اتم باشد. اگرچه در یک بلور واقعی نواقصی در آرایش اتمی کامل دیده میشود. این نواقص را ناکاملیها مینامند. علاوه بر خواص ساختاری یک نمونه، میتوان ضخامت یک بسلایه را نیز از روی طیف پراش اشعه ایکس به دست آورد. هنگامی که اشعه ایکس به یک نمونه برخورد میکند در اثر برهم کنش بین فوتونها و ذرات ماده هدف پدیدههای متفاوتی از جمله اثر فتوالکتریک^۲، تولید الکترونهای اوژه^۳ و پراکندگی همدوس¹ میتواند رخ دهد. پراکندگی همدوس اشعه ایکس به نام پراش اشعه ایکس شناخته میشود که در این رویداد یک برخورد کاملاً الاستیک بین فوتونها و اتمهای شبکه رخ میدهد که منجر به تغییر جهت فوتون فرودی میشود در حالیکه انرژی و فاز آن ثابت میماند.

مطابق شکل ۳-۱ پرتوهای اشعه X با زاویه θ به صفحات مختلف براگ⁶ برخورد می کنند و سپس با همان زاویه پراکنده می شوند.

¹ X-Ray diffraction

² Photoelectric effect

³ Auger electron

⁴ Coherence scattering

⁵ Bragg plans



شکل ۲-۱- پراکندگی کشسان پرتوی X از صفحات بلوری با فاصله d.

اختلاف راه پرتوی X که به دو صفحهی متوالی برخورد می کند برابر با $ext{Td}_{hkl}\sin heta$ میباشد. برای تداخل سازنده رابطهی براگ ٔ به صورت زیر نوشته میشود :

$$2d_{hkl} \sin \theta = n\lambda$$
 (۱-۳)
در این رابطه n مرتبه پراش، Λ طول موج اشعه ایکس و d_{hkl} فاصله بین صفحات اتمی متوالی براگ با
اندیسهای میلر⁷ (hkl) است. زاویهی بین پرتوی پراکنده شده و امتداد پرتوی فرودی ۲۵ است که مقدار
آن را از روی الگوی پراش اشعه X ماده میتوان تضمین کرد. با مشخص شدن قله مربوط به پراش از هر
یک از صفحات براگ میتوان زاویه θ مربوط به آن را بدست آورد و از آنجا d_{hkl} را محاسبه نمود. علاوه بر
این، جهت رشد بلوری را نیز میتوان با مقایسهی طیف نمونه با طیفهای استاندارد تعیین نمود. شکل ۲-۳
دستگاه پراش پرتوهای X را به صورت شماتیک نشان میدهد.

¹ Bragg's equation ² Miller indices



شکل ۲-۳- نمایی شماتیک از سیستم پراش پرتوی X.

در دستگاه XRD، پرتوهای X با محدودهی پیوستهای از طول موج، از یک آند مولد پرتوهای X ساطع می شوند و به وسیله یک تک فام ساز فیلتر می گردند تا این که پرتوهای X مشخص با طول موج خاص عبور کرده و به وسیله و به وسیله کرده و بر روی نمونه فرود آیند. پس از برهم کنش پرتوها با اتمهای شبکه، پرتوها پراشیده شده و به وسیله آشکارساز دریافت می گردند.

با استفاده از رابطهی (۳-۲) که به معادله دبای-شرر ^۱ معروف است و رابطه (۳-۳) به ترتیب اندازهی بلورکها و کرنش را می توان تعیین کرد [۳۵ و ۳۶].

$$t = \frac{K\lambda}{\beta_x \cos\theta} \tag{Y-Y}$$

$$\frac{\beta_x \cos\theta}{\lambda} = \frac{1}{t} + \frac{\eta \sin\theta}{\lambda} \tag{(Y-Y)}$$

¹ Debye-Scherrer equation

در این روابط t اندازه بلورک، λ طول موج اشعه ایکس، β_x پهنای کامل نصف ماکزیمم قله بر حسب رادیان ، θ زاویه براگ، k مقداری ثابت (۰/۹) و η کرنش میباشد. هر چه بلورک کوچکتر باشد قله پهنتر خواهد شد. لازم به ذکر است که در پروژه اندازه گیریها توسط دستگاه پراش پرتو ایکس فیلیپس مدل Advance-8 با گسیل خط طیفی $Cu_{K\alpha}$ و طول موج ۱/۵۴۰۵ آنگستروم انجام شده است.

AGFM) '-۱-۲- مغناطومتر گرادیان نیروی متناوب'

اگر یک آهنربای میلهای با گشتاور مغناطیسی M در میدان مغناطیسی H قرار داده شود به آن گشتاور نیرویی وارد می گردد که از رابطه زیر بدست می آید :

$$L = MH\sin\theta \tag{(f-r)}$$

که در این رابطه θ زاویهای است که جهت میدان با گشتاور مغناطیسی آهنربا میسازد. بنابراین یک میدان یکنواخت میتواند آهنربا را بچرخاند، اما نمیتواند آن را جابهجا کند. اما اگر میدان مغناطیسی در یک جهت معین بعنوان مثال جهت X تغییر کند آنگاه گرادیان میدان در این جهت غیر صفر بوده یک جهت معادله حرکت برای جسمی با $(\frac{\partial h_x}{\partial x} \neq 0)$ و به صورت یک نیرو در جهت X ظاهر میشود. در این صورت معادله حرکت برای جسمی با گشتاور مغناطیسی m_x از رابطه (۳–۵) بدست میآید.

$$F_{x}\left(t\right) = m_{x} \frac{\partial h_{x}}{\partial x} \tag{(\Delta-T)}$$

در این رابطه میدان میدان میتواند به شکل $h_x = h_m e^{i\omega t}$ باشد که در آن h_m بیشینه مقدار میدان تناوبی و ω فرکانس نوسان میدان میباشد. واضح است که این نیرو به طور معادل با دامنه نوسان و به طور مستقیم با گشتاور مغناطیسی متناسب میباشد. سیستم AGFM بر اساس پدیده فیزیکی بالا توسط زیجل

¹ Alternating Gradient Force Magnetometer

استرا^۱ در سال ۱۹۷۰ ساخته شد و توسط فلاندرس^۲ در سال ۱۹۸۸ اصلاح گردید. این سیستم شامل یک قطعه پیزوالکتریک متصل به یک شیشه آمورف است که بعنوان نگهدارنده نمونه در میدان عمل می کند. میدان مغناطیسی متغیر عرضی از طریق دو سیمپیچ چسبانده شده به دو قطب آهنربایی که میدان اصلی را ایجاد مینمایند و با عبور دادن یک جریان متناوب از سیمپیچها تولید میشود، نیرویی بر نمونه مغناطیسی قرار داده شده در میدان وارد می کند که این نیرو توسط پایه نگاهدارنده شیشهای به عنصر پیزوالکتریک متصل به آن منتقل میشود. نیروی محرکه وارد شده به پیزوالکتریک یک گشتاور خمشی در آن ایجاد مینماید که حاصل آن ایجاد یک اختلاف پتانسیل (متناسب با نیروی وارد شده بر نمونه در میدان) در دو سر پیزو می باشد لذا با اندازه گیری میزان ولتاژ ایجاد شده در پیزوالکتریک میتوان مقدار xm را برآورد نمود. طرحوارهای از یک سیستم AGFM در شکل (۳–۳) دیده میشود.



شکل ۳-۳- نمایی از سیستم AGFM (۱- سیمپیچ ۲- آهنربای اصلی ۳- قطعه پیزوالکتریک ۴- نمونه ۵- میله شیشهای ۶- محفظه ضربه زننده ارتعاشی).

¹Zijl Stra

² Flanders

۳-۱-۳ میکروسکوپ الکترونی روبشی^۱ (SEM)

در یک میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) یک پرتو الکترونی به نمونه میتابد. منبع الکترونی (تفنگ الکترونی) معمولاً یک رشته تنگستنی است. الکترونهای گسیل شده از این رشته تنگستنی بین ۳۰-۲۰KeV اشتاب داده میشوند. سپس دو یا سه عدسی متمرکزکننده پرتو الکترونی را کوچک میکنند، SEM تا حدی که در موقع برخورد با نمونه قطر آن حدوداً بین ۱۰۰۳–۲ است. با استفاده از سیستم میتوان تصاویری با بزرگنمایی بین ۱۰ تا ۱۰۰،۰۰۰ برابر با قدرت تفکیکی در حدود ۳ تا ۱۰۰ نانومتر (بسته به نمونه) بدست آورد.

در صورت تجهیز این میکروسکوپ با یک آشکارساز^۲ که قادر به آشکارسازی پرتوهای برگشته نیز باشد آنها قادر به انجام امور زیر خواهند بود:

الف) مشاهده مرزدانه

ب) مشاهده حوزهها[†] در مواد فرومغناطیس

ج) ارزیابی جهت بلوری دانهها

اندازه نمونهها با توجه به طراحی میکروسکوپهای الکترونی روبشی موجود تعیین میشود. معمولاً نمونههایی به بزرگی ۱۵ تا ۲۰ سانتیمتر را میتوان در میکروسکوپ قرار داد ولی نمونههای ۴ تا ۸ سانتیمتر را میتوان بدون جابجاکردن نمونه بررسی کرد. برای ثبت تصاویر SEM ابتدا بایستی نمونهها آماده سازی شوند. مواد غیرهادی معمولاً با لایه نازکی از کربن، طلا یا آلیاژ طلا پوشش داده میشوند. باید بین نمونه و پایه اتصال الکتریکی برقرار شود و نمونههایی ریز نظیر پودرها باید روی یک فیلم هادی پخش

¹ Scaninnig Electron Microscope

² Back scattered

³ Grain boundary

⁴ Domains

شده و کاملاً خشک شوند. نمونهها باید عاری از مایعاتی با فشار بخار بالا نظیر آب، محلولهای پاککننده آلی و غیره باشند.

در شکل ۳–۴ نمایی از میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه طرح شماتیکی از آن نشان داده شده است.



شکل ۳-۴- نمایی از میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه طرح شماتیکی از آن.

۲-۲- مراحل رشد لایههای مطالعه شده

۳-۲-۱ الكتروليت استفاده شده جهت انباشت

نقش الکترولیت در لایه نشانی به روش الکتروانباشت بسیار پر اهمیت است. برای بدست آوردن لایه هایی با کیفیت مناسب الکترولیت نقش بسیار مهمی را ایفا می کند و از آن می توان به عنوان یکی از عامل های مؤثر در فرایند الکتروانباشت نام برد. همانطور که در فصل اول اشاره شد الکترولیت محلولی رسانا است که محیط بین الکترودها را در درون پیل تشکیل می دهد و شامل تمام یون های فلزی عناصر مورد انباشت بر روی الکترود کار می باشد. الکترولیت می تواند شامل یون های دیگری از جمله عوامل کمپلکس کننده و بافرها^۱ که باعث افزایش رسانایی محلول می گردد نیز باشد. بنابراین وجود این عوامل مقاومت الکتریکی بین الکترود کار و الکترود ثانویه را کاهش می دهد که این امر منجر به کاهش افت پتانسیل بین این الکترودها می گردد.

الکترولیت استفاده شده جهت انباشت لایههای نازک فلزی کبالت بر روی زیرلایههای مختلف، ۲۰۰ میلیلیتر محلول شامل، ۵/۲۰ گرم سولفات کبالت هفت آبه، ۶۶/۰۶گرم کلرید کبالت شش آبه، ۵/۹۰ گرم تری سیترات سدیم دو آبه، ۳/۰۶ گرم سدیم ساخارین و آب مقطر یونزدایی شده میباشد. pH محلول نیز با استفاده از PH متر مدل (Metrohm (827 PH Lab) اندازه گیری شد. pH اندازه گیری شده ۲۰۱۲ بدست آمد.

مواد ذکر شده در بالا پس از توزین به وسیله ترازوی دیجیتالی در یک بشر ۲۵۰ میلیلیتری ریخته شد، سپس مقداری آب یونزدایی شده به آن اضافه گردید و توسط همزن مغناطیسی به خوبی هم زده شدند تا محلول حاصله حالت شفافی به خود بگیرد. در نهایت محلول را در یک استوانه مدرج ۲۵۰ میلیلیتری ریخته و با اضافه کردن آب یونزدایی شده، آن را به حجم ۲۰۰ میلیلیتر میرسانیم. استفاده از آب مقطر یونزدایی شده به این دلیل است که در برخی از فرایندها وجود یونهای مزاحم میتواند باعث ایجاد خطا در نتایج آزمایش شوند.

در توصیف ترکیبات محلول آنچه که قابل ذکر است رنگ و خصوصیات ظاهری ترکیبات و نقش آنها در الکترولیت میباشد. سولفات کبالت هفت آبه پودری قرمز رنگ میباشد که نقش آن تولید یونهای دو بار مثبت کبالت در الکترولیت میباشد. در واقع در الکتروانباشت لایههای نازک با انتخاب نمک مناسب از ماده مورد نظر میتوان باعث بهبود کیفیت لایههای انباشت شده گردید. کلرید کبالت شش آبه پودری آلبالویی رنگ است که علاوه بر تولید یونهای دو بار مثبت کبالت در الکترولیت، باعث افزایش رسانایی محلول نیز میشود. تری سیترات سدیم پودری سفید رنگ میباشد که عدم حضور آن در الکترولیت باعث

¹ Buffer
رسوب دهی الکترولیت و از دست دادن شفافیت الکترولیت می شود. سدیم ساخارین نیز پودری سفید رنگ می باشد که می تواند در چسبندگی و پیوستگی لایه های نازک الکتروان باشت شده بسیار مؤثر باشد. پس از اضافه کردن تمامی مواد نامبرده شده رنگ محلول حاصله از ترکیبات فوق آلبالویی کمرنگ می شود. البته با توجه به غلظت ترکیبات فوق شدت رنگ محلول می تواند کم یا زیاد شود.

۳-۲-۲- آمادهسازی زیرلایه

با توجه به نوع لایه انباشت شده و نیز نوع کاربرد آن زیرلایه میتواند از مواد مختلفی چون شیشه، سرامیک، نیمرسانا، فلز و نظایر آنها انتخاب شود. که در روش الکتروانباشت این زیرلایهها فقط به رساناها و نیمرساناها محدود میشوند. زیرلایهها دارای خواص مختلفی میباشند که انتخاب مناسب آنها باعث بالا رفتن کیفیت و عملکرد دلخواه لایههای نازک میشود. چون لایه بر سطح زیرلایه انباشت میشود لازم است که سطح زیرلایه عاری از هر گونه آلودگی و ناخالصی باشد. به همین منظور باید سطح زیرلایه قبل از لایه گذاری کاملاً تمیز و هموار گردد.

در این پروژه از زیرلایههای آلومینیومی، سیلیکونی، ITO و همچنین شیشهای که روی سطح آن یک لایه آلومینیومی انباشت شده استفاده شده است که در ادامه به صورت مجزا به آنها پرداخته می شوند.

۳-۲-۳- آمادهسازی زیرلایه آلومینیوم

یکی از مهمترین مراحل، قبل از لایه نشانی آمادهسازی زیرلایه و تمیزکاری آن میباشد. اولین زیرلایهای که مورد بررسی قرار می گیرد آلومینیوم است. برای آمادهسازی زیرلایه آلومینیوم اولین اقدامی که انجام شده است تهیه ورقههای مناسب آلومینیوم با درصد خلوص بالا میباشد. سپس بایستی این

¹ Indium Tin Oxide

ورقهها را در ابعاد مناسب ۱cm×۱cm برش دهیم. بعد از مرحله برش ورقههای آلومینیوم، باید آلودگیهای سطحی آلومینیوم از بین برود، بدین منظور کافی است قطعات آماده شده را در محلول ۱۰ درصد NaOH، مدت ۵ دقیقه قرار دهیم. بعد از انجام این مرحله از کار به وسیلهی پنس قطعات آلومینیوم را از محلول درآورده، با آب مقطر شستشو میدهیم و سپس خشک مینماییم. قطعات آلومینیوم بیرون آورده شده از محلول فوق به علت واکنش با محلول عاری از هر گونه آلودگی میباشد اما دیگر از شفافیت لازم جهت رشد برخوردار نیست. برای حل این مشکل اقدامی که انجام شد استفاده از سونش الکتروشیمیایی میباشد که در ادامه به طور کامل به آن پرداخته میشود. اما قبل از این کار باید اقدام به انجام عملیات ماسکزنی و برقراری اتصال اهمیکنیم که لازمه شروع سونش الکتروشیمیایی است.

۳-۲-۳ عملیات ماسکزنی و برقراری اتصال اهمی

قبل از انجام سونش الکتروشیمیایی آلومینیوم باید شرایطی را فراهم آوریم تا قطعات آماده شده را به محلول الکتروسونش انتقال دهیم. اساس کار سونش الکتروشیمیایی، انجام واکنشهای اکسایش و کاهش در سطح الکترودهای آند و کاتد با اعمال پتانسیل مناسب است. برای انجام این کار یکی از راههای پیشنهادی استفاده از یک سیم مفتولی مسی که در انتهای آن قطعه مربعی از مس به اندازه یک سانتیمتر مربع لحیم شده است، میباشد. سپس بایستی عملیات ماسکزنی و برقراری اتصال اهمی جهت سونش الکتروشیمیایی و رشد لایههای مورد نظر انجام شود.

عملیات ماسکزنی را بدین منظورکه ضخامت ناحیه انباشت قابل کنترل باشد انجام میدهیم. با کنترل مساحت ناحیهی انباشت و با استفاده از قانون فارادی میتوان ضخامت لایهی مورد نظر را کنترل کرد. بار انتقال یافته در فرآیند انباشت معیاری از مقدار ماده انباشت شده است. لذا اگر لایهی انباشت شده کاملا یکنواخت باشد، مقدار مادهی انباشت شده، از طریق چگالی آن به حجم وابسته میشود. با توجه به اینکه روش الکتروانباشت بر پایه انتقال بار و عبور جریان استوار است، باید یک اتصال اهمی از نمونه به ناحیه بیرون الکترولیت برقرار کرد. بدین منظور میتوان از چسب شیشه ای مقاوم در برابر اسید استفاده نمود.

مقداری چسب شیشه ای مقاوم در برابر اسید را برش داده و با استفاده از یک شابلون و سوزن ته گرد دایرهای به شعاع ۲ میلیمتر را از آن جدا می کنیم. برای اتصال اهمی از سیم مفتولی مسی ذکر شده استفاده می نمائیم. برای این کار زیرلایه را بین سیم مسی و چسب قرار داده، سپس قسمت اضافی چسب روی آن بر گردانده می شود. بدین تر تیب تنها قسمت های بدون ماسک در مجاورت الکترولیت و در معرض انباشت هستند و مساحت انباشت تحت کنترل قرار می گیرد.

باید به این نکته توجه کرد که اگر در این مرحله اقدام به قرار دادن الکترود در الکترولیت نماییم، الکترولیت به داخل چسب و زیرلایه نفوذ کرده و اتصال اهمی را دچار مشکل مینماید. برای حل این مشکل اضافی چسبها را به وسیلهی قیچی برش داده و سپس دور آن را با هویه به هم می چسبانیم تا مانع نفوذ محلول به داخل آن و قطع اتصال اهمی شود. مراحل ذکر شده به ترتیب در شکل ۳-۵ نشان داده شده است.



شکل ۳-۵- مراحل ماسکزنی و برقراری اتصال اهمی.

٣-٢-٣-٢ سونش الكتروشيميايي زيرلايه آلومينيوم

پس از عملیات ماسکزنی و برقراری اتصال اهمی به منظور بدست آوردن سطحی صاف و صیقلی نیاز به عملیات سونش الکتروشیمیایی می باشد. برای این منظور از یک سلول الکتروشیمیایی شامل دو الکترود استفاده می شود. الکترود اول زیرلایه و الکترود دوم گرافیت است. این الکترودها را در ۲۰۰ میلی لیتر محلول اسید پرکلریدریک و اتانول با نسبت ۱ به ۴ قرار می دهیم. با توجه به آنکه گرافیت با محلول الکتروسونش واکنش انجام نمی دهد و همچنین شستشوی آن پس از هر بار سونش سادهتر است، برای این منظور گزینه ای مناسب می باشد. زیرلایه به قطب مثبت منبع پتانسیل DC متصل می شود، یعنی نقش آند را بازی می کند در حالی که گرافیت به قطب مثبت منبع پتانسیل DC متصل می شود، یعنی نقش آند را بازی می کند در حالی که گرافیت به قطب منبت منبع پتانسیل متصل می شود و نقش کاتد را بازی می کند. با اعمال اختلاف پتانسیل مناسب به مدت کافی، در سطح آند عمل اکسایش صورت می گیرد و اترها از سطح آن جدا شده و به گرافیت انتقال می یابند و سطحی صاف و صیقلی حاصل می شود. اختلاف پتانسیل مناسب در این کار بین ۱۰ تا ۱۵ ولت می باشد و زمان لازم برای سونش الکتروشیمیایی بین ۵ تا اکمرولیت افزایش یافته و باعث اختلال در عملیات سی به دلیل گرمازا بودن واکنش، ممکن است دمای الکترولیت افزایش یافته و باعث اختلال در عملیات سونش شود. برای حل این مشکل و کنترل دما می توان

پس از انجام سونش الکتروشیمیایی زیرلایه را با آب مقطر شستشو داده و به منظور جلوگیری از اکسید شدن مجدد فوراً به الکترولیت مربوطه انتقال میدهیم. در شکل ۳-۶ یک طرح شماتیک از فرایند سونش الکتروشیمیایی نشان داده شده است.



شكل ۳-۶- شماتيكي از فرايند پوليش الكتروشيميايي.

۳-۲-۴- آمادەسازى زيرلايەي سيليكون

آمادهسازی زیرلایه سیلیکونی با آنچه در مورد زیرلایه آلومینیومی بیان شد کمی متفاوت است بعد از برش سیلیکون در اندازهای مناسب شروع به تمیزکاری آن مینمائیم. در تمیزکاری زیرلایه سیلیکونی و از بین بردن آلودگیهای سطحی نیازی به انجام سونش الکتروشیمیایی نیست. برای انجام این کار کافی است که قبل از انجام الکتروانباشت، عملیات ماسکزنی و اتصال اهمی را مانند آنچه در مورد آلومینیوم بیان شد انجام داد. لیکن بهتر است، اتصال اهمی از روی نمونه صورت پذیرد. زیرا مقاومت روی نمونه کمتر از پشت آن میباشد در نتیجه رسانایی روی آن از پشت نمونه بیشتر است و این کار باعث میشود اتصال اهمی آن میباشد در نتیجه رسانایی روی آن از پشت نمونه بیشتر است و این کار باعث میشود اتصال اهمی محلول شامل ۳ میلیلیتر اسید فلوریک، ۵ میلیلیتر اسید نیتریک، ۳ میلیلیتر اسید سیتریک و ۳۳ معلول شامل ۳ میلیلیتر اسید فلوریک، ۵ میلیلیتر اسید نیتریک، ۳ میلیلیتر اسید سیتریک و ۳۳ میلیلیتر آب مقطر یونزدایی شده میباشد. زیرلایه مورد استفاده را به مدت ۵ دقیقه به منظور جدا شدن معلول خارج کرده و با آب مقطر به خوبی شستشو میدهیم و در نهایت به وسیله گاز ازت خشک مینمائیم. سپس برای جلوگیری از تشکیل لایههای اکسیدی و آلودگیهای به سی مولی را از مینمائیم. سپس برای میلوگیری از تشکیل لایههای اکسیدی و آلودگیهای میده به را از مینمائیم. سپس برای میلوگیری از تشکیل لایههای اکسیدی و آلودگیهای جدید فوراً آن را به الکترولیت

TO -۲-۳- آمادهسازی زیرلایهی

برای آمادهسازی زیرلایههای ITO مانند زیرلایه آلومینیومی و سیلیکونی در ابتدا زیرلایهها را در اندازه مورد نظر برش میدهیم. بعد از این کار نوبت به از بین بردن آلودگیهای سطحی و یا لایههای اکسیدی تشکیل شده میباشد. به منظور از بین بردن لایههای اکسیدی و انجام عملیات تمیزکاری زیرلایهها را در دستگاه التراسونیک^۱ که شامل محلول استن است به مدت ۲۸۰ ثانیه قرار میدهیم. پس از جداسازی لایههای اکسیدی، آنها را با آب مقطر شستشو داده و با گاز ازت خشک مینمائیم. درآخرین مرحله و قبل از شروع عملیات انباشت اقدام به عملیات ماسکزنی و برقراری اتصال اهمی به همان صورت ذکر شده در آمادهسازی زیرلایهی آلومینیومی و سیلیکونی مینمائیم.

۲-۲-۴ انباشت آلومینیوم بر روی شیشه با استفاده از روش تبخیر حرارتی در خلاء^۲

به منظور بررسی تاثیر ضخامت بر روی خواص لایههای نازک کبالت بر آن شدیم تا زیرلایههایی با ضخامتهای متفاوت تولید نمائیم. در نتیجه با استفاده از روش تبخیر حرارتی در خلاء، لایههایی از آلومینیوم به ضخامتهای ۶۵، ۱۵۰ و ۴۰۰ نانومتر بر روی شیشه تهیه گردید.

در انجام لایه نشانی تبخیر حرارتی در خلاء برای چسبندگی بهتر لایه آلومینیوم به زیرلایه شیشه از یک گرمکن استفاده شده است. با استفاده از این گرمکن لایه نشانی در شرایط دمایی ۲۵۰ درجه سانتیگراد انجام شد. در نبود گرمکن لایههای انباشت شده آلومینیوم بر روی شیشه به راحتی از روی شیشه جدا میشوند. در انجام لایه نشانی فاصله قایق تا ضخامتسنج ۱۳ و فاصله قایق تا زیرلایه ۱۴

¹ Ultrasonic

² Thermal Evaporation Deposition

سانتیمتر انتخاب شد. در نهایت سه نمونه با ضخامتهای مختلف ۶۵، ۱۵۰ و ۴۰۰ نانومتر جهت بررسی تاثیر ضخامت زیرلایه بر روی خواص لایههای نازک کبالت تهیه شده به روش الکتروانباشت تهیه گردید.

۳-۲-۷- پیکربندی سلول

برای انباشت لایههای مورد نظر از سلول سه الکترودی استفاده شده است. الکترودهای استفاده شده جهت انباشت عبارتند از الکترود کار، الکترود ثانویه و الکترود مرجع. الکترود کار همان زیرلایهای است که لایه نشانی روی آن انجام میشود. الکترود ثانویه ورقهی پلاتینی با ابعاد ۳ در ۳ سانتیمتر است. علت استفاده از پلاتین به عنوان الکترود ثانویه، به دلیل بی اثر بودن پلاتین در واکنشهای شیمیایی میباشد. استفاده از پلاتین به عنوان الکترود ثانویه، به دلیل بی اثر بودن پلاتین در واکنشهای شیمیایی میباشد. استفاده از پلاتین به عنوان الکترود ثانویه، به دلیل بی اثر بودن پلاتین در واکنشهای شیمیایی میباشد. به عبارت دیگر پلاتین جریان الکتریکی لازم را برای انجام واکنش الکتروشیمیایی تامین می کند و نیز اکسید نمیشود و بدین ترتیب در لایه انباشت شده یا الکترولیت ناخالصیای وارد نمی کند. الکترود مرجع مورد استفاده نیز الکترود کالومل جیوه اشباع (SCE) است که پتانسیل آن نسبت به الکترودها نشان استاندارد برابر ۲۴/۲۲۲ ولت است. در شکل ۳–۷ طرحواره ای از ترتیب قرارگیری این الکترودها نشان داده شده است.



شکل ۳-۷- نمای شماتیک از یک سلول سه الکترودی.

همانطور که در این شکل دیده میشود، الکترود مرجع بین دو الکترود دیگر قرار میگیرد، به طوری که فاصله آن از الکترود کار کمتر است. با نگاه دقیق تر به شکل می توان دید که جریانی از الکترود مرجع عبور نمی کند و از این الکترود، به علت ثابت بودن پتانسیل آن، فقط جهت سنجش پتانسیل استفاده می شود. از این رو این الکترود را نزدیک الکترود کار قرار می دهیم تا افت پتانسیل ناشی از مقاومت محلول می شود. از این رو این الکترود مرجع برای تعیین ناحیه ای استفاده می کنیم که می خواهیم با سطح الکترود کمتر شود. از این رو این الکترود مرجع برای تعیین ناحیه ای استفاده می کنیم که می خواهیم با سطح الکترود کمتر شود. در واقع از الکترود مرجع برای تعیین ناحیه ای استفاده می کنیم که می خواهیم با سطح الکترود کار اختلاف پتانسیل مشخصی داشته باشد. به عنوان مثال اگر الکترود مرجع را در یک سانتی متری الکترود کار قرار دهیم و اختلاف پتانسیل را برابر V انتخاب کنیم، مشخص شده است که اختلاف پتانسیل بین الکترود ثار و مرجع برابر V گردد الکترود ثانویه و الکترود کار به نحوی تغییر می کند که بین الکترودهای کار و مرجع برابر V گردد این الکترود ثانویه و الکترود کار به نحوی تغییر می کند که بین الکترودهای کار و مرجع برابر V گردد این الکترود ثانویه و الکترود کار به نحوی تغییر می کند که بین الکترودهای کار و مرجع برابر P

شکل هندسی الکترود ثانویه در یکنواختی لایه انباشت شده مؤثر است، زیرا میتواند میدان الکتریکی بین این الکترود و الکترود کار را تحت تاثیر قرار دهد و بنابراین یونهای موجود در الکترولیت تحت اثر این میدان در جهات خاصی بیشتر حرکت میکنند و انباشت میشوند. خطوط میدان به سمت لبه زیرلایه انحراف دارد و بنابراین ضخامت لایه انباشت شده در لبهها نسبت به وسط بیشتر خواهد بود.

لازم به ذکر است که با توجه به هدف لایه نشانی، فاصله الکترودها متفاوت خواهد بود. در این پژوهش، در همه آزمایشات، فاصله الکترود کار و ثانویه برابر ۴ سانتیمتر انتخاب شد و الکترود مرجع در فاصله یک سانتیمتری از الکترود کار و بین دو الکترود دیگر قرار گرفت.

این الکترودها با استفاده از چند گیره در ظرفی شیشهای قرار می گیرند و مجموعه روی همزنی مغناطیسی قرار داده می شود. کنترل دمای الکترولیت نیز از طریق دماسنج همزن صورت می گیرد که با استفاده از یک صفحه داغ^۱ قابلیت ثابت نگه داشتن دما را فراهم می کند.

¹ Hot Plate

۲-۲-۸- منحنی ولتامری چرخهای

قبل از انجام لایه نشانی باید به طریقی از رفتار پتانسیودینامیکی یونهای موجود در الکترولیت آگاهی پیدا کنیم. بدین منظور از منحنیهای ولتامتری چرخهای (CV) استفاده میکنیم. منحنی ولتامتری چرخهای، منحنی تغییرات جریان بر حسب اختلاف پتانسیل است. در واقع دستگاه پتانسیوستات با جاروب اختلاف پتانسیل بین دو نقطه مشخص و با گامهای معین، جریان الکتریکی را در هر مرحله ثبت میکند و در نهایت با انتقال دادهها به کامپیوتر متصل به آن، نموداری از تغییرات جریان بر حسب اختلاف پتانسیل را رسم میکند. با استفاده از این نمودار این امکان فراهم میشود که در مورد بازه پتانسیل فعالیت هر یک از یونهای موجود در الکترولیت اطلاعاتی به دست آورد و بدین ترتیب با انتخاب مناسب پارامترها ، انباشت را به سمت دلخواه سوق داده و وقوع واکنشهای مزاحم را کمینه کرد.

در ادامه منحنیهای ولتامتری چرخهای زیرلایههای مختلف از دو الکترولیت، یکی حاوی یونهای کبالت و دیگری فاقد یونهای کبالت را مورد بررسی قرار میدهیم تا پتانسیل مناسب جهت انباشت و رشد لایههای نازک کبالت بر روی این زیرلایهها را بیابیم. الکترولیت حاوی یونهای کبالت از ۵/۲۰ گرم سولفات کبالت هفت آبه، ۶۶/۰ گرم کلرید کبالت شش آبه. ۵/۹۰ گرم تری سیترات سدیم دو آبه، ۳/۰۶ گرم سدیم ساخارین و آب مقطر یونزدایی شده تشکیل شده است. درحالی که الکترولیت فاقد یونهای کبالت یا الکترولیت شاهد از ۵/۹۰ گرم تری سیترات سدیم دو آبه، ۳/۰۶ گرم سدیم ساخارین و آب مقطر یونزدایی شده تشکیل شده است. همه منحنیهای ولتامتری چرخهای زیرلایههای مختلف در بازه پتانسیل ۰ تا ۵/۱- و با آهنگ روبشی^۱ ۰۴- میلیولت بر ثانیه گرفته شده است. با مقایسه منحنیهای ولتامتری چرخهای دو الکترولیت میتوان به بازه پتانسیلی که در آن یونهای ²⁺¹ مه ایم کراهش پیدا میکنند پی برد و تا حد امکان این پتانسیل را برای انباشت بهتر ۲۰ بهینه کرد.

¹ Scanning rate

۳-۲-۸-۱- منحنی ولتامتری چرخهای زیرلایه آلومینیوم

در دو شکل ۳-۸ و ۳-۹ بترتیب منحنی های ولتامتری چرخهای کبالت الکترولیت های فاقد یون های کبالت و حاوی یون های کبالت برای زیر لایه آلومینیوم نمایش داده شده است.

همانطور که در شکل ۳–۸ ملاحظه می شود با روبش پتانسیل از ۰ به سمت ۱/۵– ولت، جریا ن عبوری بسیار ناچیز و نزدیک به صفر می باشد، که نشان دهنده این موضوع است که احیاء گونه های موجود در این بازه بسیار ناچیز می باشد.



شکل ۳-۸- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت فاقد یونهای کبالت روی زیرلایه آلومینیوم.

از منحنی ولتامتری چرخهای آلومینیوم از الکترولیت شامل یونهای ^{Co+2} در شکل ۳–۹ ملاحظه می شود که جریان در پتانسیل ۰/۹۰ شروع به رشد می کند.



شکل ۳-۹- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت حاوی یونهای کبالت روی زیرلایه آلومینیوم.

در مقایسه با منحنی ولتامتری چرخهای نشان داده شده در شکل ۳–۸، جریان قابل ملاحظهای در منحنی ولتامتری چرخهای شکل ۳–۹ دیده می شود که نشان دهنده یا حیاء یون های Co⁺² به اتمهای Co می باشد و به ما این اطلاعات را می دهد تا بازه پتانسیل مورد نظر را بیابیم.

۲-۲-۸-۲ منحنی ولتامتری چرخهای زیرلایه آلومینیوم رشد داده شده روی شیشه به ضخامت ۶۵ نانومتر

در شکل ۳-۱۰ منحنی ولتامتری چرخهای الکترولیت فاقد یونهای ^{Co+2} بر زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۶۵ nm بر روی زیرلایه شیشه نمایش داده شده است.



شکل ۳-۱۰- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت فاقد یونهای کبالت به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۶۵ نانومتر رشد داده شده روی شیشه.

همانطور که ملاحظه می شود جریان بسیار ناچیز است و تقریبا صفر می باشد. آنچه در بازه پتانسیل ۰ تا ۰/۵– مشاهده می شود مربوط به جریان آندی یا اکسیداسیون می باشد که برای انباشت از اهمیت کمی بر خوردار است، ضمن آنکه این جریان نیز بسیار ناچیز می باشد. آنچه برای انباشت مهم است وجود جریان کاتدی یا احیاء می باشد که نشان دهنده احیاء گونه مورد نظر می باشد. در شکل ۳–۱۱ منحنی ولتامتری چرخهای الکترولیت حاوی یونهای ^{Co+2} به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۶۵ نانومتر رشد داده شده روی شیشه نمایش داده شده است. با دقت در شکل ۳–۱۱ میتوان به بازه پتانسیل مورد نظر جهت انباشت Co پی برد. منحنی ولتامتری چرخهای نشان میدهد که در پتانسیل ۹/۰- ولت جریان مربوط به احیاء یونهای ^{Co+2} شروع به رشد مینماید. یعنی در ۹/۰- ولت پتانسیل به حدی رسیده است که میتواند یونهای ^{Co+2} را به اتمهای Co احیاء کند.



شکل ۲۳-۱۱- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت حاوی یونهای ^{Co+2} به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۶۵ نانومتر رشد داده شده روی شیشه.

۲-۳-۸-۳- منحنی ولتامتری چرخهای برای زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۱۵۰ نانومتر رشد داده شده روی شیشه

در شکلهای ۳-۱۲ و ۳-۱۳ منحنیهای ولتامتری چرخهای الکترولیتهای ذکر شده برای زیرلایه آلومینیوم رشد داده شده روی شیشه به ضخامت ۱۵۰ نانومتر نمایش داده شده است.

همانطور که در شکل ۳–۱۲ مشاهده می شود، مانند زیر لایه های قبلی، جریان بسیار ناچیز و تقریبا صفر می باشد. در اینجا نیز یک جریان آندی قابل مشاهده است که می تواند مربوط به اکسیداسیون سدیم ساخارین، تری سیترات سدیم دو آبه و یا آب یون زدایی شده باشد که اهمیت چندانی در انباشت ندارد. البته می توان با بررسی منحنی ولتامتری چرخه ای مواد بکار رفته به صورت جداگانه مشخص نمود که این جریان دقیقا به کدام گونه می تواند نسبت داده شود.



شکل ۳-۱۲- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت فاقد یونهای کبالت به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۱۵۰ نانومتر رشد داده شده روی شیشه.

در شکل ۳–۱۳ منحنی ولتامتری چرخهای الکترولیت شامل یونهای Co⁺² را برای همان زیرلایه نشان میدهد.

همانطور که مشاهده می شود جریان احیاء از ۰/۷- شروع به رشد می نماید که با مقایسه با شکل ۳–۱۲ می توان آن را به کاهش یونهای ²⁺Co به اتمهای Co نسبت داد. در بازه پتانسیل ۰ تا ۰/۴- جریان آندی قابل ملاحظهای مشاهده می شود که می توان آن را به اکسیداسیون گونه های موجود در الکترولیت نسبت داد. توجه به یک نکته در رابطه با جریان آندی می تواند حائز اهمیت باشد، چنانچه به جای یک گونه خالص قصد داشته باشیم شرایط رشد گونههای آلیاژی را فراهم کنیم جریان آندی از اهمیت زیادی در منحنیهای ولتامتری چرخهای برخوردار می شود. علتش این است که در گونههای آلیاژی به دلیل تفاوت در بازههای اکسیداسیون و احیاء عناصر مورد نظر، ممکن است در بازهای که یک گونه احیاء می شود، گونه در بازههای اکسیداسیون و احیاء عناصر مورد نظر، ممکن است در بازهای که یک گونه احیاء می شود، گونه در بازههای اکسیداسیون و احیاء عناصر مورد نظر، ممکن است در بازهای که یک گونه احیاء می شود، گونه در بازه های اکسید شود و بالعکس، در نتیجه تاثیر بسزایی در انباشت داشته باشد.



شکل ۳-۱۳- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت حاوی یونهای کبالت به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۱۵۰ نانومتر رشد داده شده روی شیشه.

۲-۳-۸-۴ منحنی ولتامتری چرخهای برای زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۴۰۰ نانومتر رشد داده شده روی شیشه

در شکلهای ۳-۱۴ و ۳–۱۵ منحنیهای ولتامتری چرخهای الکترولیتهای ذکر شده برای زیرلایه آلومینیوم با ضخامت ۴۰۰ نانومتر رشد داده شده روی شیشه نمایش داده شده است.

منحنی ولتامتری چرخهای الکترولیت فاقد یونهای ^{2+Co} در شکل ۳–۱۴ نشان میدهد هیچ جریانی که نشاندهنده احیاء گونههای موجود در الکترولیت فاقد یونهای کبالت باشد، مشاهده نمی شود. که این معنی را در خود پنهان کرده است که هیچ یونی با بار مثبت و حتی یونی با بار منفی وجود ندارد که با دریافت الکترون از بار مثبتش کاسته و یا بر بار منفیاش افزوده شود.



شکل ۱۴-۳ منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت فاقد یونهای کبالت به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۴۰۰ نانومتر رشد داده شده روی شیشه.

با دقت در شکل ۳–۱۵ که نمایشی از منحنی ولتامتری الکترولیت شامل یونهای Co^{+2} میباشد مشاهده می می مشود که جریان کاتدی از -0.9 مراع به رشد می ماید که نمایانگر احیاء یونهای Co^{+2} به

اتمهای Co میباشد. از این پتانسیل به بعد میتوان انباشت را انجام داد. البته باید به این نکته توجه کرد که این پتانسیل طوری انتخاب شود که لایههای تهیه شده از کیفیت بالایی برخوردار باشند. این که چه پتانسیلی انتخاب شود را میتوان از طریق تجربه بدست آورد، اما راهی که علمیتر به نظر میرسد به کمک ناحیه پخش محدود که در فصل اول آورده شده است میباشد. برای رسیدن به این ناحیه کافی است که گونهها را به طور مجزا بررسی کنیم. در این صورت بهترین پتانسیل جهت انباشت، همان پیک کاتدی که در منحنی ولتامتری چرخهای مشاهده میشود، میباشد.



شکل ۳-۱۵- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت حاوی یونهای کبالت به روی زیرلایه آلومینیوم به ضخامت ۴۰۰ نانومتر رشد داده شده روی شیشه.

۲-۲-۸-۵- منحنی ولتامتری چرخهای برای زیرلایه سیلیکون

منحنیهای ولتامتری چرخهای الکترولیتهای ذکر شده برای زیرلایه سیلیکون در شکلهای ۳-۱۶ و ۳-۱۷ نشان داده شده است. با دقت در شکل ۳–۱۶ که نمودار منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیتی است که در آن یونهای کبالت موجود نمیباشد مشاهده میشود که جریان کاتدی نسبت به نمونههای قبلی از میزان بیشتری برخوردار است، اما مقدارش بسیار ناچیز میباشد و قابل چشم پوشی میباشد. آنچه که میتواند از اهمیت بالایی در ولتامتری چرخهای برخوردار باشد مقایسه منحنیهای ولتامتری چرخهای دو الکترولیت و تغییرات عبوری جریان نسبت به یکدیگر است.



شکل ۳-۱۶- منحنی ولتامتری چرخه ای از الکترولیت فاقد یونهای کبالت به روی زیرلایه سیلیکون.

در شکل ۳–۱۷ منحنی ولتامتری چرخهای الکترولیت شامل یونهای ^{۲2} Co⁺² بر روی زیرلایه سیلیکون آورده شده است. جریان کاتدی در ۸/۰– شروع به رشد میکند. با مقایسه این جریان با جریان منحنی ولتامتری چرخهای شکل ۳–۱۶ دیده میشود که جریان کاتدی شکل ۳–۱۶ در مقایسه با جریان کاتدی شکل ۳–۱۷ بسیار ناچیز است و قابل چشم پوشی میباشد. باز هم مانند نمونههای قبلی میتوان این رشد جریان را به احیاء یونهای Co⁺² به اتمهای Co نسبت داد و پتانسیل مناسب جهت انباشت را از ۸/۰- به بعد انتخاب کرد.



شکل ۳-۱۷- منحنی ولتامتری چرخه ای از الکترولیت حاوی یون های کبالت به روی زیر لایه سیلیکون.

در آخرین بررسی منحنیهای ولتامتری چرخهای زیرلایههای مختلف به بررسی منحنی ولتامتری چرخهای زیرلایه ITO پرداخته می شود تا بحث در مورد منحنیهای ولتامتری چرخهای را به پایان برسانیم.

T-۲-۸-۹- منحنی ولتامتری چرخهای زیرلایه ITO

در دو شکل ۳–۱۸ و ۳–۱۹ منحنی ولتامتری چرخهای الکترولیتهای توصیف شده برای زیرلایه ITO نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۳–۱۸ مشاهده می شود در بازه بین ۹/۰- تا ۱/۳- جریان کاتدی عبوری زیادی مشاهده نمی شود. آنچه در پتانسیل های منفی تر از ۱/۳- دیده می شود جریان قابل ملاحظهای است که میتوان آن را به جریان کاتدی احیاء آب نسبت داد. آنچه از اهمیت زیادی در منحنیهای ولتامتری چرخهای برخوردار میباشد مقایسه جریان منحنیها در بازههای پتانسیل مورد نظر میباشد.



شکل ۳-۱۸- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت فاقد یون های کبالت به روی زیر لایه ITO.

در شکل ۳–۱۹ نیز منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت، حاوی یونهای Co⁺² به روی زیرلایه ITO نشان داده شده است.

با دقت در شکل درمییابیم که مانند نمونههای قبلی جریان کاتدی در حدود ۰/۹۰ - شروع به رشد کرده و به میزان قابل توجهی در مقایسه با منحنی ولتامتری چرخهای شکل ۳–۱۸ میرسد که این حکایت از احیاء یونهای دو بار مثبت کبالت به اتمهای کبالت را دارد. با حرکت به سمت پتانسیلهای منفی تر جریان در ولتاژ حدود ۱/۳ - ولت بیشینه شده و سپس کاهش می یابد که میتواند به علت اضافه شدن جریان کاتدی حاصل از احیاء یونهای دو بار مثبت کبالت به اتمهای کبالت به اتمهای کبالت با تر



شکل ۳-۱۹- منحنی ولتامتری چرخهای از الکترولیت حاوی یونهای کبالت به روی زیرلایه ITO.

در انتهای بررسی منحنیهای ولتامتری چرخهای مربوط به زیرلایههای گوناگون آنچه را که میتوان به عنوان یک نکته قابل اهمیت در مورد همه نمونهها بیان کرد، این است که واکنش قابل انتظار، گرفتن دو الکترون یونهای کبالت دو بار مثبت و تبدیل آن به اتمهای کبالت میباشد که به صورت رابطه زیر نشان داده میشود :

$$Co^{+2} + 2\overline{e} \to Co \tag{(7-7)}$$

آنچه از منحنی ولتامتری چرخهای نمونهها روی زیرلایههای متفاوت نتیجهگیری میشود این است که بازه احیاء یونهای کبالت دو بار مثبت به اتمهای کبالت تقریبا یکسان است. تنها تفاوت عمده به میزان جریان عبوری برمیگردد که این نیز میتواند ناشی از تفاوت در رسانایی زیرلایههای بکار رفته باشد.

فصل چهارم

مشخصه یابی لایه های نازک کبالت و تحلیل داده ها

ا مقدمه

- بررسی تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک
 کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیوم
 - بررسی تاثیر ضخامت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت
 انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیوم
- بررسی تاثیر پتانسیل انباشت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک
 کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای آلومینیومی
- بررسی تاثیر ضخامت زیرلایه آلومینیوم بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای
 ناز ک کبالت
 - بررسی تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک
 کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای سیلیکونی
 - بررسی تاثیر ضخامت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت
 انباشت شده بر روی زیرلایه ITO
 - ا نتیجه گیری

۴–۱– مقدمه

در این فصل به ارائه نتایج بدست آمده در تغییر پارامترهای رشد مانند دمای الکترولیت، پتانسیل انباشت، ضخامت لایه انباشت شده و تاثیر ضخامت زیرلایه بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت رشد داده شده به روش الکتروانباشت میپردازیم.

۲-۴- بررسی تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیوم

۲-۲-۴ مقدمه

قبل از بررسی تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت بر روی زیرلایه آلومینیوم، به طور مختصر مطالبی در مورد خصوصیات آلومینیوم که به عنوان زیرلایه استفاده شده است ارائه می گردد.

آلومینیوم فلزی به رنگ سفید نقرهای با نقطه ذوب ۶۵۸ درجه سانتیگراد با علامت اختصاری Al و دارای وزن مخصوص ۲/۷ گرم بر سانتیمتر مکعب است. آلومینیوم دارای ثابت شبکه ۴/۰۴۹ آنگستروم و ساختار بلوری ccp با گروه فضایی نوع F میباشد [۱۲]. در دستهبندی مواد از لحاظ مغناطیسی، پارامغناطیس محسوب میشود و میدان مغناطیسی در اثر حضور این ماده کمی تقویت میشود. استحکام، رسانایی، مقاومت در برابر خوردگی و سبک بودن آلومینیوم این فلز را برای رفع نیازهای متنوع و به لحاظ فناوری پیچیده دنیای امروز کاملاً مناسب ساخته است. از همه مهمتر آلومینیوم را میتوان مادهای برخوردار از بالاترین پایداری محیطی به شمار آورد.

¹ Cubic close-packed

۲-۲-۴ شرايط الكتروانباشت

به منظور بررسی تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت بر روی زیرلایه آلومینیوم، چندین لایه با شرایط رشد یکسان تهیه گردید که تنها دمای الکترولیت آنها با یکدیگر متفاوت بود. حجم الکترولیت مورد استفاده ۲۰۰ میلیلیتر بود. این الکترولیت از ترکیب ۵/۲۰ گرم سولفات کبالت هفت آبه، ۶۶/۰ گرم کلرید کبالت شش آبه،۵۹۰ گرم تری سیترات سدیم دو آبه، ۲/۰۶ گرم سدیم ساخارین و آب مقطر یونزدایی شده تهیه شد. مقدار PH محلول ۵/۱۲ اندازه گیری شد، همچنین از الکترودهای پلاتین و کالومل جیوه اشباع بترتیب به عنوان الکترودهای ثانویه و مرجع استفاده شد. در جدول ۴–۱ شرایط انباشت لایههای نازک کبالت از الکترولیتهای با دماهای متفاوت ذکر شده

شعاع ناحیه انباشت (mm)	همخوردگی (دور بر دقیقه)	زمان (8)	پتانسیل (V)	دما (⁰ C)	نمونه
٢	۱۰۰	۱۲۰۰	-1/1	۲۸	١
٢	۱۰۰	۱۲۰۰	-1/1	۵۰	٢
٢	۱۰۰	۱۲۰۰	-1/1	۶.	٣

جدول ۴-۱- شرایط انباشت لایههای نازک کبالت از الکترولیتهای با دماهای متفاوت بر روی زیرلایه آلومینیوم.

۴-۲-۳- مطالعات ساختاری

۲-۴-۳-۱- پراش اشعه ایکس (XRD)

برای بررسی ساختار نمونههای آماده شده و همچنین بررسی تاثیر دمای الکترولیت بر آن، اندازه گیری XRD انجام شد. در ابتدا از زیر لایه آلومینیوم پراش اشعه ایکس گرفته شد تا محل قلههای ساختاری آن مشخص شود. در شکل ۴–۱ طرح پراش اشعه ایکس زیرلایه آلومینیوم نشان داده شده است.



به علت اینکه در این پروژه طرح پراش اشعه ایکس لایههای نازک کبالت بهمراه زیرلایه گرفته شده ممکن است در طرحهای پراش اشعه ایکس، قلههای زیرلایه نیز دیده شود. برای تشخیص اینکه کدام قله مربوط به لایه و کدام قله مربوط به زیرلایه میباشد از نرمافزار Powdercell جهت محاسبه راستاهایی که در آن لایه و زیرلایه میتواند دارای قله باشد استفاده شده است که این راستاها با نمودارهای ستونی نقطهچین و خطچین نشان داده شده است. در شکل ۴–۱ راستاهای محاسبه شده مربوط به زوایای براگ آلومینیوم بصورت نقطهچین نشان داده شده است. برای محاسبه راستاها و زوایای براگ آلومینیوم از ثابت شبکه ۴/۰۴۹ آنگستروم و ساختار بلوری cp^{3 ب}ا گروه فضایی نوع F استفاده شده است که انحراف کمی که از اندازه گیری وجود دارد به همین دلیل میباشد. محل قلههای زیرلایه AI در بازهی زاویه ای که در آن طرح پراش اشعه ایکس ثبت شده است منطبق بر قلههای محاسبه شده میباشند. شدت دو قله (۲۰۰) و

در شکل ۴-۲ طرح پراش اشعه ایکس لایه انباشت شده از الکترولیت با دمای ۲۸ درجه سانتیگراد نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای ۲۸ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایه آلومینیومی. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد.

¹ Cubic close-packed

همانطور که در شکل (۴–۲) مشاهده میشود محل قلههای آلومینیوم با نقطهچین و محل قلههای محاسبه شده کبالت با خطچین نشان داده شده است. لازم بذکر است که در محاسبه راستاهایی که محاسبه شده کبالت در آن دارای قله میباشد از ساختار بلوری hcp با گروه فضایی P و ثابتهای شبکه Å ۲/۵۰۶ و گرالت در آن دارای قله میباشد از ساختار بلوری hcp با گروه فضایی P و ثابتهای شبکه Å ۲/۵۰۶ و گ گم ۹۶-۴/۶۹ میباشد. سه جهت (۲۰۰) و عدم انطباق کامل نیز به همین دلیل میباشد. سه جهت (۲۰۰)، (۲۰۰) و (۲۰۱) با ساختار بلوری ccp منطبق بر قلههای آلومینیوم میباشد. قله (۲۰۰) مربوط به ساختار بلوری ۱۲۰۰ نیز است. فریز میباشد که بسیار نزدیک به قله آلومینیوم بازی با در آل میباشد. نور به قله آلومینیوم میباشد. قله (۲۰۰) مربوط به ساختار بلوری با مدر این ای میباشد که بسیار نزدیک به قله آلومینیوم بیباشد. نور ای میباشد آلومینیوم میباشد که بسیار نزدیک به قله آلومینیوم بنیز است.

در شکل (۴–۳) طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای الکترولیت ۵۰ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایه آلومینیوم نشان داده شده است.



شکل ۴-۳- طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایه آلومینیوم. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد.

در این شکل نیز زوایای براگ محاسبه شده که در آنها کبالت میتواند دارای قله باشد نشان داده شده است. از مقایسه طرح پراش اشعه ایکس لایههای نازک کبالت انباشت شده از الکترولیتها با دماهای ۲۸ و ۵۰ درجه سانتیگراد به نظر میرسد که با افزایش دمای الکترولیت ساختار بلوری از کیفیت بهتری برخوردار میباشد.

همانطور که در این شکلها دیده می شود قله (۰۰۲) کبالت و قله (۲۰۰) آلومینیوم در زوایای بسیار نزدیکی از هم قرار دارند. برای بررسی این موضوع که قله مشاهده شده مربوط به راستای (۰۰۲) کبالت است یا راستای (۲۰۰) آلومینیوم، لایهای از کبالت بر روی زیرلایه آلومینیوم انباشت شد و سپس از آن جدا گردید. طرح پراش اشعه ایکس این لایه در غیاب زیرلایه آلومینیوم توسط دستگاه XRD بدست آمد. در شکل ۴-۴ طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت بدون زیرلایه آلومینیوم نشان داده شده است. زوایای براگ OD بهمراه راستاهای آن که توسط نرمافزار Powdercell محاسبه شد، نیز نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می شود قله مشاهده شده در راستای ترجیهی (۰۰۰) و زاویه براگ است. همانطور که در این شکل دیده می شود قله مشاهده شده در راستای ترجیهی (۰۰۰) و زاویه براگ معروف است و رابطهی (۳-۳) که در فصل قبل بیان شد به ترتیب اندازهی بلورکها و کرنش محاسبه معروف است و رابطهی (۳-۳) که در فصل قبل بیان شد به ترتیب اندازه بلورکها و کرنش محاسبه رابطهی (۲۰۰۶) و نرابطهی (۳-۳) که در واحل و براش یک قله مشاهده می شود، اندازه بلورکها و کرنش محاسبه رابطهی (۳-۳) و ایم می در این در رابطهی (۳-۳)، کرنش را بدست آوردیم. این نتایج در جدول ۴-۲ وارد شده است.

كرنش	اندازه بلورک (nm)	زاویه براگ ۲θ (degree)	نوع طرح پراش	دما (^O C)	نمونه
-4 1.	۵۵/۶۷	401.02	با زيرلايه	۲۸	١
-1/8 1· ⁻	18/80	44/4.1	بدون زيرلايه	۲۸	۲
-4 1· ⁻⁴	54/18	40/109	با زيرلايه	۶.	٣

جدول ۴-۲- تغییرات پارامترهای ساختاری لایههای نازک کبالت از الکترولیتهای با دماهای متفاوت.

همانطور که از جدول ۴-۴ مشاهده می شود لایه جدا شده از زیرلایه اندکی جابجایی زاویهای نسبت به لایه با زیرلایه دارد که نشان می دهد که در قله پراش مشاهده شده زیرلایه نیز سهیم می باشد. اندازه بلورکها نیز این سهم را نشان می دهد.



آلومينيوم.

۲-۲-۳-۲ مطالعه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

پس از بررسی طرح پراش اشعه ایکس نمونهها به بررسی تصاویر ثبت شده توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونهها میپردازیم. تصاویر FESEM سه نمونه رشد داده شده در سه دمای الکترولیت ۲۸، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد تهیه و در شکل ۴–۵ نشان داده شده است.



۵۰ (۲۸ پ و ت) FESEM لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای الف و ب) ۲۸ پ و ت ث و ج) ۶۰ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایه آلومینیوم. همانطور که در این تصاویر دیده میشود با افزایش دمای الکترولیت توپوگرافی سطح دچار تغییر میشود. با افزایش دمای الکترولیت، سطح نمونههایی که در دمای الکترولیت بالاتر رشد داده شدهاند از یکنواختی بیشتری نسبت به سطح نمونههایی که در دمای پایینتری از الکترولیت رشد داده شدهاند برخوردار میشوند.

۴-۲-۳-۳- خواص مغناطیسی

برای بررسی خواص مغناطیسی نمونههای انباشت شده از الکترولیتهای با دمای متفاوت ۲۸، ۵۰ و ۶۰ درجه سانتیگراد از دستگاه AGFM استفاده شده است. اندازه گیری در دمای اتاق و با اعمال میدان مغناطیسی موازی صفحه لایه انجام شد. نمودارهای حلقه پسماند لایههای نازک کبالت انباشت شده روی آلومینیوم در شکلهای ۴–۶، ۴–۷ و ۴–۸ نشان داده شده است.



شکل ۴-۶- نمودارهای حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد، روی زیرلایه آلومینیومی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی صفحه لایه.



شکل ۴-۲- نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد، روی زیرلایه آلومینیومی با اعمال یک میدان موازی صفحه لایه.



شکل ۴-۸- نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد، روی زیرلایه آلومینیومی با اعمال یک میدان موازی صفحه لایه.

همان طور که در شکلهای بالا مشاهده می شود وجود حلقه های پسماند تایید کننده فرومغناطیسی بودن لایه های انباشت شده می باشد. مغناطش اشباع و میدان وادارندگی برای الکترولیت با دمای ۲۸ درجه سانتیگراد بترتیب ۱/۰۱ emu/cm² و ۱۲/۲۵ بدست آمد. با افزایش دمای الکترولیت مغناطش اشباع و میدان وادارندگی بترتیب ۲/۱۷ emu/cm² و OF ۲۰ برای الکترولیت با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد و ² ۲/۹۳ emu/cm و ۲/۹۳ emu/cm و ۲/۹۳ emu/cm و ۲/۹۳ emu/cm می دمد مای ۶۰ درجه سانتیگراد بدست آمد که نشان می دهد مغناطش اشباع و میدان وادارندگی با افزایش دمای الکترولیت افزایش پیدا می کند که در توافق با نتایج گزارش شده در مورد تغییر دمای الکترولیت می باشد که به مرز دانهها نسبت داده شده است [۲۰]. با استفاده از قانون فارادی ضخامت نمونهها محاسبه گردید و ملاحظه شد که با افزایش دمای الکترولیت فخامت دمای الکترولیت می باشد که به مرز دانهها نسبت داده شده است [۲۰]. با مخامت لایه از قانون فارادی ضخامت نمونهها محاسبه گردید و ملاحظه شد که با افزایش دمای الکترولیت ضخامت لایه از قانون فارادی ضخامت نمونهها محاسبه گردید و ملاحظه شد که با افزایش دمای الکترولیت مخامت دمای الکترولیت معاومت لایه با افزایش دما ممکن است ناشی از کاهش مقاومت الایه از فازیش دما ممکن است ناشی از کاهش مقاومت الکتریکی محلول باشد. در نتیجه رسانایی محلول بیشتر شده و در نتیجه افزایش رسانایی، جریان بیشتری از مدار تشکیل شده عبور می نماید و بار بیشتری روی لایه می افزایش دمای الکترولیت نیز بیشتری از مدار تشکیل شده عبور می نماید و بار بیشتر شده و در نتیجه افزایش دمای الکترولیت نیز بیزاند در می معنواند ناشی از افزایش ضخامت لایه از افزایش دمای الکترولیت بریان مقاومت الکتریکی محلول باشد. در نتیجه افزایش دمای الکترولیت نیز بیشتری از مدار تشکیل شده عبور می نماید و بار بیشتری روی لایه می نشیند. بنابراین تغییرات، در میتهای مغناطیسی بدست آمده می تواند ناشی از افزایش ضخامت لایه از افزایش دمای الکترولیت نیز باشد در حدول ۴–۳ تغییرات کمیتهای مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده در سه دمای مختلف از الکترولیت به روی زیرلایه آلومینیومی نشان داده شده است.

جدول ۴-۳- تغییرات کمیتهای مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده در سه دمای مختلف از الکترولیت به روی زیرلایه آلومینیوم.

میدان وادارند <i>گی</i> H _c (Oe)	مغناطش باقیماندہ M _r (emu/cm ²)	مغناطش اشباع M _s (emu/cm ²)	ضخامت (μm)	دما (°C)	نمونه
17/20	• /٣٣	۱/+ ۱	18/84	۲۸	١
14	• /4٣	Y/ I Y	۲۹/۴ •	۵۰	۲
۱۴/۵	• /٣۶	۲/۹۳	41/89	۶.	٣

۴-۳- بررسی تاثیر ضخامت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیوم

۴-۳-۱ شرايط الكتروانباشت

به منظور بررسی تاثیر ضخامت لایه بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای آلومینیومی چهار لایه با ضخامتهای مختلف ۳/۳۳، ۵/۵۳، ۶/۶۴ و ۱۶/۶۴ میکرومتر رشد داده شدند. انباشت در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد و از ۲۰۰ میلیلیتر الکترولیت شامل، ۵/۲۰ گرم سولفات کبالت هفت آبه، ۶۶/۰ گرم کلرید کبالت شش آبه،۵/۹۰ گرم تری سیترات سدیم دو آبه، ۲/۰۶ گرم سدیم ساخارین و آب مقطر یونزدایی شده با ۲۱۲ = H انجام شد. از الکترودهای پلاتین و کالومل جیوه اشباع به عنوان الکترودهای ثانویه و مرجع استفاده شده است. در جدول ۴-۴ شرایط انباشت لایههای نازک کبالت با ضخامتهای مختلف از الکترولیت مذکور بر روی زیرلایههای آلومینیومی نشان داده شده است.

شعاع ناحیه انباشت (mm)	همخوردگی (دور بر دقیقه)	ضخامت (μm)	پتانسیل (V)	دما (^O C)	نمونه
٢	۱۰۰	٣/٣٣	-1/1	۲۸	١
٢	۱۰۰	۵/۵۳	- 1 / 1	۲۸	۲
٢	۱۰۰	8/88	-1/1	۲۸	٣
٢	۱۰۰	18/84	-1/1	۲۸	۴

جدول ۴-۴- شرایط انباشت لایههای نازک کبالت با ضخامتهای مختلف از الکترولیت مذکور بر روی زیرلایه آلومینیوم.

۴-۳-۲- مطالعات ساختاری ۴-۳-۲-۱- پراش اشعه ایکس (XRD) ۴-۳-۲-۱- پراش اشعه ایکس (لیه نازک کبالت انباشت شده با ضخامت ۱۶/۶۴ میکرومتر در شکل ۴-۹ ۱۰۰ نشان داده شده است.

مطابق با نمونههای قبلی، لایه ساختار hcp با راستای ترجیهی (۰۰۲) را نشان میدهد.



شکل ۴-۹- طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده با ضخامت ۱۶/۶۴ میکرومتر از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیومی. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد.

۴-۳-۲-۲- مطالعه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی

تصاویر FESEM لایههای نازک کبالت انباشت شده در دو ضخامت ۳/۳۳ و ۱۶/۶۴ میکرومتر از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیوم در شکل ۴–۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰- تصاویر FESEM لایههای نازک کبالت با دو ضخامت الف) ۳/۳۳ ب) ۱۶/۶۴ میکرومتر انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیومی.

با دقت در این تصاویر ملاحظه میشود با افزایش ضخامت لایه، توپوگرافی سطح دچار تغییر شده است. تصاویر FESEM نمایانگر این واقعیت است که لایه انباشت شده با ضخامت ۱۶/۶۴ میکرومتر از تراکم بیشتری نسبت به لایه انباشت شده با ضخامت ۳/۳۳ میکرومتر برخوردار است. در واقع با افزایش ضخامت، همانگونه که انتظار داریم فضاهای خالی بین دانهها پر شده و میزان کبالت در لایه افزایش مییابد، در واقع اندازه تودهها با افزایش ضخامت افزایش یافته است. از طرفی در نمونه اول که از ضخامت کمتری برخوردار است ساختار هگزاگونال کبالت تا حدودی نمایان شده است که با نتایج گزارش شده همخوانی دارد [۳۷].
۴-۳-۲-۳- خواص مغناطیسی

برای بررسی خواص مغناطیسی نمونهها، حلقههای پسماند لایههای نازک کبالت با چهار ضخامت متفاوت ۳/۳۳، ۵/۵۳، ۶/۲۲ و ۱۶/۶۴ میکرومتر با زیرلایه آلومینیوم به وسیله دستگاه AGFM اندازه گیری گردید. در همه این اندازه گیریها میدان مغناطیسی به صورت موازی با صفحهی لایهها اعمال و اندازه گیری در دمای اتاق انجام شد. نتایج این اندازه گیریها در شکلهای ۴–۱۱، ۴–۱۲، ۴–۱۳ و ۴–۱۴ نشان داده شده است.



شکل ۲۰۱۴- نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده با ضخامت ۳/۳۳ میکرومتر از الکترولیت به روی زیرلایه آلومینیومی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه.



شکل ۴-۱۲- نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده با ضخامت ۵/۵۳ میکرومتر بر روی زیرلایه آلومینیومی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه.



شکل ۴-۱۳- نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده با ضخامت ۶/۲۲ میکرومتر بر روی زیرلایه آلومینیومی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه.



شکل ۴-۱۴- نمودار حلقه پسماند لایه نازک کبالت انباشت شده با ضخامت ۱۶/۶۴ میکرومتر از بر روی زیرلایه آلومینیوم با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه.

در جدول ۴-۵ نتایج حاصل از اندازه گیری کمیتهای مغناطیسی لایههای ناز ک کبالت با ضخامتهای متفاوت ذکر شده است. نمودارهای فوق نشان میدهند که مغناطش در ضخامتهای کم روند افزایشی را با میدان دارند ولی در نمونه آخر در میدانهای کمتری به حالت اشباع نزدیک میشود. با دقت در حلقههای پسماند شکلهای بالا ملاحظه میشود که با افزایش ضخامت لایههای ناز ک کبالت، مغناطش ما میتاع و مغناطش باقیماند شکلهای بالا ملاحظه میشود که با افزایش ضخامت لایههای ناز ک کبالت، مغناطش در نخامتهای کمتری به حالت اشباع نزدیک میشود. با دقت در اشباع و مغناطش باقیماند شکلهای بالا ملاحظه میشود که با افزایش ضخامت لایههای ناز ک کبالت، مغناطش اشباع و مغناطش باقیمانده روند افزایشی داشته است در حالیکه میدان وادارندگی کاهش مییابد. لازم به ذکر است که در نمونه سوم یک اختلال در مغناطش باقیمانده وجود دارد که ممکن است بدلیل خطا در اندازه گیری باشد. این نتایج در توافق با نتایج گزارش شده میباشد [۸۳]. مؤلفین این مقاله علت کاهش وادارندگی با افزایش ضخامت با افزایش مغناطش اشباع، افزایش عنصر مغناطیسی کبالت با افزایش ضخامت میباشد. در نهایت با افزایش مغاطش اشباع، افزایش عنصر مغناطیسی کبالت با افزایش ضخامت میباشد. در نهایت با افزایش ضخامت را به تغییر در مورفولوژی سطح یا تغییر در مغناطش افزایش خامت نسبت دادهاند. علت وادارندگی با افزایش ضخامت را به تغییر در مورفولوژی سطح یا تغییر در نمیهمیباشد. در نهایت با افزایش مغناطش اشباع، افزایش عنصر مغناطیسی کبالت با افزایش ضخامت میباشد. در نهایت با افزایش میناطیس نرمتری تبدیل میشوند.

میدان وادارند <i>گی</i>	مغناطش	زير لايه الومينيوم. مغناطش اشباع	ضخامت	
H _c (Oe)	M _r باقیمانده (emu/cm ²)	M_s (emu/cm ²)	(µm)	تموته
٢٢	•/•۶۲	• /٣	٣/٣٣	١
١٩	•/• ٧٨	•/٣٨	۵/۵۳	۲
١٢	•/•۵۶	•/٣٨۵	۶/۲۲	٣
17/0	• /٣٣	۱/• ۱	18/84	۴

جدول ۴-۵- تغییرات کمیتهای مغناطیسی لایههای نازک کبالت با ضخامتهای متفاوت انباشت شده از الکترولیت روی زیر لایه آلومینیوم.

۴-۴- بررسی تاثیر پتانسیل انباشت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای آلومینیومی

۴-۴-۱- شرايط الكتروانباشت

به منظور بررسی تاثیر پتاسیل انباشت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت بر روی زیرلایههای آلومینیومی دو لایه با شرایط رشد یکسان که در پارامتر پتانسیل انباشت با هم فرق داشتند آماده شد. لایهها از ۲۰۰ میلیلیتر الکترولیتی که شامل، ۵/۲۰ گرم سولفات کبالت هفت آبه، داشتند آماده شد. لایهها از ۲۰۰ میلیلیتر الکترولیتی که شامل، ۳/۰۶ گرم سولفات کبالت هفت آبه، ۱۶۶۰ گرم کلرید کبالت شش آبه،۵۹۰ گرم تری سیترات سدیم دو آبه، ۳/۰۶ گرم سدیم ساخارین و آب مقطر یونزدایی شده میباشد با pH برابر ۵/۱۲ در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد تهیه گردیدند. در جدول ۴-۶ شرایط انباشت لایههای نازک کبالت با پتانسیلهای مختلف از الکترولیت مذکور بر روی زیرلایه آلومینیوم نشان داده شده است.

شعاع ناحیه انباشت (mm)	همخوردگی (دور بر دقیقه)	زمان (8)	پتانسیل (V)	دما (⁰ C)	نمونه
٢	1	۱۸۰۰	- 1 / 1	۲۸	١
٢	١	۱۸۰۰	$-1/T\Delta$	۲۸	٢

جدول ۴-۶- شرایط انباشت لایههای نازک کبالت با پتانسیلهای مختلف از الکترولیت مذکور بر روی زیرلایه آلومینیوم.

۴-۴-۲- مطالعه خواص ساختاری

(XRD) براش اشعه ایکس (XRD)

الگوی پراش نوعی اشعه ایکس یکی از این لایهها که در پتانسیل ۱/۱- ولت انباشت شده است در شکل ۴–۱۵ نشان داده شده است. چنانچه ملاحظه می شود غیر از قلههایی که در زوایای بالای ۶۰ درجه که مربوط به زیرلایه Al می شد، لایه نازک کبالت دارای ساختار hcp با راستای ترجیهی (۰۰۲) می باشد.



شکل ۴-۱۵- طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده در پتانسیل ۱/۱- ولت از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیوم. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد.

۴-۴-۲-۲- مطالعه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی

تصاویر FESEM دو نمونه رشد داده شده در دو پتانسیل انباشت ۱/۱- و ۱/۲۵- ولت از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیوم تهیه شد تا تاثیر پتانسیل انباشت بر روی خواص ساختاری آنها مورد بررسی قرار گیرد. تصاویر FESEM لایههای انباشت شده در دو پتانسیل ۱/۱- و ۱/۲۵- ولت در شکل ۴-۱۶ نشان داده شده است. همانطور که در این تصاویر دیده میشود با افزایش پتانسیل انباشت یکنواختی سطوح افزایش یافته است و تقارن هگزاگونال لایه به وضوح دیده میشود و نشان میدهد که شامل تنها فاز hcp می باشد که در توافق با نتیجه های منابو سکو و همکاران می باشد که گزارش کردند که در حضور سدیم ساخارین تنها فاز hcp تشکیل می شود [۳۷].





(الف)

شکل ۴-۱۶- تصاویر FESEM لایههای نازک کبالت انباشت شده با دو پتانسیل الف) ۱/۱- ب) ۱/۲۵- ولت از الکترولیت بر روی زیرلایههای آلومینیومی.

۴-۴-۲-۳- خواص مغناطیسی

حلقههای پسماند لایههای انباشت شده در دو پتانسیل متفاوت ۱/۱- و ۱/۲۵- ولت که با دستگاه AGFM اندازه گیری شد در شکلهای ۴–۱۷ و ۴–۱۸ نشان داده شده است. راستای میدان مغناطیسی به صورت موازی با سطح لایهها بوده است و اندازه گیری در دمای اتاق انجام شده است. کمیات مغناطیسی استخراج شده از این اندازه گیریها در جدول ۴–۷ ذکر شده است.

¹ Manhabosco



شکل ۴–۱۷– نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با پتانسیل ۱/۱– ولت از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیومی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه.



شکل ۴-۱۸- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با پتانسیل ۱/۲۵- ولت از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیومی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی با صفحه لایه.

با منفی تر شدن پتانسیل انباشت، ضخامت لایه های ناز ک کبالت در اثر افزایش جریان و نشستن بار بیشتری در سطح زیرلایه بر طبق قانون فارادی افزایش مییابد، اگرچه که زمان انباشت یکسانی برای هر دو لایه انتخاب شده بود. مشاهده می گردد که با افزایش پتانسیل انباشت، مغناطش اشباع افزایش و میدان وادارندگی کاهش یافته است. دو دلیل را برای این تغییرات میتوان ذکر کرد: ۱) افزایش در ضخامت لایه ۲) بهبود کیفیت ساختاری، چنانچه از تصاویر FESEM نمونهها مشاهده نمودیم، توزیع اندازه تودهها یکنواخت تر شده بود.

جدول ۴-۷- تغییرات کمیتهای مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده با پتانسیلهای متفاوت از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیوم.

میدان وادارندگی H _c (Oe)	مغناطش M _r باقیمانده (emu/cm ²)	مغناطش اشباع M _s (emu/cm ²)	ضخامت (μm)	پتانسیل (V)	نمونه
۱۲/۵	• /٣٣	۱/• ۱	18/84	-1/1	١
٨/٩	۰ /۳ ۱	۲/۱۵	۳۰/۰۴	-1/20	۲

۴–۵– بررسی تاثیر ضخامت زیرلایه آلومینیوم بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت

۴-۵-۱- شرايط الكتروانباشت

به منظور بررسی تاثیر ضخامت زیرلایه آلومینیوم بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت به روش زیر عمل نمودیم. بدلیل عدم دسترسی به زیرلایههای آلومینیومی با درجه خلوص مورد نیاز و سطح یکنواخت، برای تهیه آنها از لایه نشانی تبخیر حرارتی در خلاء بر روی زیرلایههای شیشه استفاده کردیم. سپس سه لایه نازک کبالت با شرایط یکسان را روی این زیرلایهها بروش الکتروانباشت لایه نشانی نمودیم. الکترولیت شامل، ۵/۲۰ گرم سولفات کبالت هفت آبه، ۶/۶۰ گرم کلرید کبالت شش آبه، ۵/۹۰ گرم تری سیترات سدیم دو آبه، ۳/۰۶ گرم سولفات کبالت و آب مقطر یونزدایی شده به حجم ۲۰۰ میلیلیتر بود که pH آن نیز ۵/۱۲ اندازه گیری شد. مشابه قبل از الکترود پلاتین و الکترود کالومل جیوه اشباع به عنوان الکترودهای ثانویه و مرجع استفاده شده است. شرایط لایههای نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت مذکور بر روی زیرلایههای آلومینیوم رشد داده شده بر روی شیشه با ضخامتهای متفاوت در جدول زیر گزارش داده شده است.

جدول ۴-۸- اطلاعات مربوط به لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای آلومینیومی با ضخامتهای متفاوت.

شعاع ناحیه انباشت (mm)	همخوردگی (دور بر دقیقه)	زمان (8)	پتانسیل (V)	دما (⁰ C)	ضخامت زیرلایه (nm)	نمونه
٢	1	۱۸۰۰	-1/1	۲۸	۶۵	١
٢	۱۰۰	۱۲۰۰	-1/1	۲۸	۱۵۰	٢
٢	1	۱۲۰۰	- 1 / 1	۲۸	4	٣

۴–۵–۲– مطالعه ساختاری

(XRD) براش اشعه ایکس (XRD)

طرح پراش اشعه ایکس لایهی نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت، بر روی زیرلایه آلومینیوم رشد داده شده روی شیشه با ضخامت ۴۰۰ نانومتر به روش تبخیر حرارتی در خلاء در شکل ۴–۱۹ نشان داده شده است. در شکل محل قلههای AL و قلههای Co محاسبه شده توسط نرمافزار نیز نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده میشود با توجه به اینکه در این حالت زیرلایه دارای ضخامت کمتری است قلههای پراش ناشی از آن بدلیل قدرت تفکیک دستگاه مشاهده نمیشود. تنها راستایی که لایه نازک کبالت در آن راستا دارای قله میباشد راستای ترجیهی (۰۰۲) با زاویه براگ ۴/۵۱ درجه مربوط به ساختار بلوری hcp است. با استفاده از رابطهی (۳–۲) اندازه بلورکها و با استفاده از رابطه (۳–۳) کرنش به ترتیب ۱۵/۰۵ نانومتر و ^۳-۱/۵۷ - بدست آمد. این نتایج نشان میدهد که طرح پراش اشعه ایکس مربوط به لایه کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیومی که با ضخامت ۴۰۰ نانومتر بر روی زیرلایه شیشهای رشد داده شده است در مقایسه با طرحهای پراش اشعه ایکس کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیومی از شدت کمتر و کیفیت ساختاری پایینتری برخوردار است که این با نتایج گزارش شده [۱۸] همخوانی دارد. این نتایج نشان میدهد که خواص ساختاری نمونهها به ضخامت زیرلایه وابسته است.



شکل ۴-۱۹- طرح پراش نوعی اشعه ایکس لایهی نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیومی با ضخامت ۴۰۰ نانومتر. اندیسهای میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت میباشد.

۴-۵-۲-۲- خواص مغناطیسی

برای بررسی خواص مغناطیسی نمونهها حلقههای پسماند لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای آلومینیومی با ضخامتهای ۶۵، ۱۵۰ و ۴۰۰ نانومتر توسط دستگاه AGFM در دمای اتاق اندازه گیری شد. در این مطالعه اندازه گیریها با اعمال میدان مغناطیسی به صورت موازی با صفحهی لایههای نازک انجام شد. نتایج این اندازه گیریها در شکلهای ۴-۲۰، ۴-۲۱ و ۴-۲۲ نشان داده شده است. با استفاده از قانون فارادی ضخامت لایههای نازک کبالت محاسبه و بهمراه نتایج حاصل از این اندازه گیریها در جدول ۴-۹ ذکر شده است. با افزایش ضخامت زیرلایه، ضخامت لایههای نازک کبالت کمی کاهش پیدا می کند که ممکن است بدلیل افزایش ضخامت زیرلایه، ضخامت لایههای نازک کبالت مقادیر مغناطش اشباع و میدان وادارندگی ذکر شده در جدول ۴-۹ نشان میدهد که با افزایش ضخامت زیرلایه، مقادیر آنها کمی کاهش یافته است که منشأ آن میتواند الف) کاهش در ضخامت لایه و ب) نفوذ AI در لایه باشد.



شكل ۴-۲۰- نمودار حلقه پسماند كبالت انباشت شده از الكتروليت بر روى زيرلايه ألومينيوم با ضخامت ۶۵ نانومتر.



شکل ۴-۲۱- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیوم با ضخامت ۱۵۰ نانومتر.



شکل ۴-۲۲- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیوم با ضخامت ۴۰۰ نانومتر.

میدان وادارندگی H _c (Oe)	مغناطش باقیمانده M _r (emu/cm ²)	مغناطش اشباع M _s (emu/cm ²)	ضخامت (μm)	ضخامت زیرلایه (nm)	نمونه	
24/12	•/17	• /٣٣	۵/۹۶	۶۵	١	
22/20	٠/٠٩	•/۲۵٨	۵/۷۴	10.	۲	
22/41	•/\\	•/٢۶٨	۵/۶۸	4	٣	

جدول ۴-۹- تغییرات کمیتهای مغناطیسی کبالت انباشت شده از الکترولیت بر روی زیر لایههای آلومینیوم با ضخامتهای متفاوت، رشد داده شده روی شیشه.

- ۴-۶- بررسی تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای سیلیکونی
 - ۴-8-۱-۹ شرايط الكتروانباشت

به منظور بررسی تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای ناز ک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایههای سیلیکونی سه لایه با شرایط رشد یکسان ولی در دمای الکترولیت متفاوت از ۲۰۰ میلیلیتر الکترولیتی که شامل، ۵/۲۰ گرم سولفات کبالت هفت آبه، ۶۶/۰ گرم کلرید کبالت شش آبه، ۵/۹۰ گرم تری سیترات سدیم دو آبه، ۳/۰۶ گرم سدیم ساخارین و آب مقطر یونزدایی شده میباشد و HP آن نیز ۲۱/۱ اندازه گیری شد تهیه گردیدند. ضمن اینکه از الکترود پلاتین و الکترود کالومل جیوه اشباع به عنوان الکترودهای ثانویه و مرجع استفاده شده است. شرایط انباشت لایههای ناز ک

شعاع ناحیه انباشت (mm)	همخوردگی (دور بر دقیقه)	زمان (S)	پتانسیل (V)	دما (⁰ C)	نمونه
٢	1	۱۸۰۰	-1/1	۲۸	١
٢	۱۰۰	۱۸۰۰	-1/1	۴۵	٢
٢	1	۱۸۰۰	-1/1	۵۰	٣

جدول ۴-۱۰- شرایط انباشت لایههای نازک کبالت انباشت شده روی زیرلایه سیلیکون در الکترولیتهای با دمای متفاوت.

۴–۶–۲– مطالعات ساختاری

(XRD) براش اشعه ایکس (XRD)

برای خواص ساختاری نمونهها اندازه گیری پراش اشعه ایکس لایههای نازک کبالت انباشت شده در الکترولیتهای با دماهای ۲۸ و ۵۰ درجه سانتیگراد ثبت گردید که نتایج آن در شکلهای ۴–۲۳ و ۴–۲۴ نشان داده شده است.



همانطور که در این شکلها دیده می شود در الگوی پراش مشاهده شده هیچ قلهای که مربوط به زیرلایه سیلیکونی باشد دیده نمی شود. لازم بذکر است برای محاسبه قلههای سیلیکون از ثابت شبکه ۵/۴۳۰ آنگستروم با ساختار مکعبی و گروه فضایی نوع F استفاده شد [۱۲]. قله مشاهده شده (۰۰۲) بر راستای محاسبه شده از نرم افزار Powdercell منطبق است. لایههای رشد داده شده دارای راستای ترجیحی (۰۰۲) مربوط به ساختار بلوری هگزاگونال می باشند. قله (۰۰۲) در زوایای براک ۴۴/۶۴ و ۴۴/۴۹ درجه به ترتیب برای الکترولیتهای با دمای ۲۸ و ۵۰ درجه سانتیگراد مشاهده می شود. علت کاهش زاویه برای لایه تهیه شده از الکترولیت در دمای بالاتر ممکن است ناشی از افزایش ثابت شبکه باشد.



مىباشد.

با استفاده از رابطهی (۳–۲) اندازه بلورکها و با استفاده از رابطه (۳–۳) کرنش لایه محاسبه گردید. برای نمونه تهیه شده از الکترولیت در دمای ۲۸ درجه سانتیگراد، اندازه بلورکها ۱۵/۷۵ نانومتر و کرنش ^{۳-} ۱۰ ۲/۵۷– بدست آمد و برای نمونه دیگر که از الکترولیت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد تهیه شده بود اندازه بلورکها ۱۳/۴۶ نانومتر و کرنش نیز ^{۳–} ۱۰ ۲/۹۳– بدست آمد که تغییر چندانی نداشته است. مقایسه مقادیر کرنش نسبت به زیرلایه AI نشان میدهد که در این حالت کرنش افزایش یافته است که بدلیل تفاوت بیشتر ثابتهای شبکه Si با Co در مقایسه با AI و Co میباشد. ۴-۶-۲-۲- مطالعه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی

تصاویر FESEM لایههای نازک کبالت انباشت شده در الکترولیتهای با دو دمای ۲۸ و ۵۰ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایه سیلیکون در شکل ۴–۲۵ نشان داده شده است.





ب شکل ۴-۲۵- تصاویر FESEM لایههای نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای الف) ۲۸ ب) ۵۰ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایه سیلیکونی.

با دقت در این شکلها ملاحظه می گردد که با افزایش دمای الکترولیت یکنواختی سطوح کاهش یافته است. همانطور که در طرح پراش اشعه ایکس لایههای نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت با دو دمای ۲۸ و ۵۰ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایه سیلیکونی دیده شد با افزایش دمای الکترولیت کرنش نمونهها افزایش پیدا میکند که این میتواند منجر به کاهش یکنواختی سطح لایههای نازک کبالت شود.

۴-۶-۲-۳- خواص مغناطیسی

نمودار حلقه پسماند لایههای نازک کبالت انباشت شده از الکترولیتهای در دماهای ۲۸، ۴۵ و ۵۰ درجه سانتیگراد در دمای اتاق در شکلهای ۴-۲۶، ۴-۲۷ و ۴-۲۸ نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۶- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای ۲۸ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایههای سیلیکونی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی صفحه لایه.



شکل ۴-۲۷- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای ۴۵ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایههای سیلیکونی با اعمال یک یک میدان مغناطیسی موازی صفحه لایه.



شکل ۴-۲۸- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده از الکترولیت با دمای ۵۰ درجه سانتیگراد بر روی زیرلایههای سیلیکونی با اعمال یک میدان مغناطیسی موازی صفحه لایه.

ضخامت محاسبه شده لایهها با استفاده از قانون فارادی و نتایج استخراج شده از این اندازه گیریها در جدول ۴–۱۱ ذکر شده است. همانطور که در شکلهای ۴–۲۶، ۴–۲۷ و ۴–۲۸ دیده میشود با افزایش دما، مغناطش اشباع نمونهها کاهش مییابد. همچنین مقدار وادارندگی در دو دمای ۲۸ و ۴۵ درجه سانتیگراد تغییر محسوسی ندارد لیکن در ۵۰ درجه سانتیگراد افزایش مییابد. از آنجا که در این حالت با افزایش دمای الکترولیت ضخامت لایه کاهش یافته است، این تغییر در مقدار وادارندگی ممکن است بدلیل تغییر در ضخامت لایه باشد که در توافق با نتایج منتشر شده است [۱۲].

میدان وادارندگی H _c (Oe)	مغناطش باقیمانده M. (emu/cm ²)	مغناطش اشباع M _s (emu/cm ²)	ضخامت (μm)	دما (⁰ C)	نمونه
17/77	•/•YA	•/٢•١	۵/•۶	۲۸	١
17/11	•/•۴۹۵	•/1•9	١/٩۶	۴۵	۲
۱۸/۹۵	•/•۴٧۵	•/١•٢	Υ/Λ	۵۰	٣

جدول ۴-۱۱- تغییرات کمیتهای مغناطیسی کبالت انباشت شده در الکترولیت با سه دمای مختلف بر روی زیرلایه ریبا، کوز

۴–۷– بررسی تاثیر ضخامت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه ITO

۴-۷-۱- شرايط الكتروانباشت

به منظور بررسی تاثیر ضخامت لایه بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت بر روی زیرلایههای ITO چندین لایه با شرایط رشد یکسان و ضخامتهای لایه متفاوت از الکترولیتی با شرایط مشابه نمونههای قبلی آماده شدند. شرایط انباشت این لایهها در جدول ۴–۱۲ آورده شده است.

شعاع ناحیه انباشت (mm)	همخوردگی (دور بر دقیقه)	پتانسیل (V)	دما (⁰ C)	ضخامت (µm)	نمونه
٢	١	-1/1	۲۸	٣/١۵	١
٢	١	- 1 / 1	۲۸	٣/٨۵	۲
٢) • •	- 1 / 1	۲۸	۴/۹۱	٣
٢	١	-1/1	۲۸	$\Delta / \cdot V$	۴

جدول ۴-۱۲- شرایط انباشت لایههای نازک کبالت با ضخامتهای مختلف از الکترولیت مذکور بر روی زیرلایه ITO.

۴–۷–۲– مطالعه ساختاری

(XRD) براش اشعه ایکس (XRD)

طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت انباشت شده از الکترولیت با ضخامت ۳/۱۵ میکرومتر بر روی زیرلایه ITO در شکل ۴–۲۹ نشان داده شده است. در این شکل محل قلههای پراش محاسبه شده کبالت و ITO نیز نشان داده شده است.

برای محاسبه قلههای ITO توسط نرمافزار از ثابت شبکه ۱۰/۱۱۸ آنگستروم با ساختار مکعبی و گروه فضایی نوع I استفاده شده است [۱۲]. چهار قله (۲۲۰)، (۳۱۰)، (۳۱۰) و (۴۴۰) مربوط به ساختار بلوری مکعبی بر قلههای زیرلایه ITO منطبق میباشد. البته قلههای دیگری مربوط به ITO نیز در شکل دیده میشوند که از شدت بالایی برخوردار نیستند. همانطور که در شکل دیده میشود قله با راستای ترجیهی (۰۰۲) با زاویه براگ ۴۴/۳۵ درجه مربوط به ساختار بلوری hcp بر طرح پراش اشعه ایکس لایه نازک کبالت منطبق است و تنها این قله مربوط به لایه نازک کبالت میباشد. با استفاده از رابطهی (۳–۲) اندازه بلورکها حدود ۱۶/۸۳ نانومتر بدست آمد.



روی زیرلایه ITO. اندیس های میلر داخل مستطیل مربوط به راستای محاسبه شده کبالت می باشد.

۴-۷-۳- خواص مغناطیسی

نمودار حلقههای پسماند لایههای نازک کبالت انباشت شده با چهار ضخامت متفاوت ۳/۱۵، ۳/۸۵، ۴/۹۱ و ۵/۰۷ میکرومتر که تحت همان شرایط اندازه گیری مغناطیسی نمونه قبلی در دمای اتاق اندازه گیری شدهاند در شکلهای ۴–۳۰، ۴–۳۱، ۴–۳۲ و ۴–۳۳ نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۰- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با ضخامت ۳/۱۵ میکرومتر روی زیرلایه ITO با میدان مغناطیسی موازی صفحه لایه.



شکل ۴-۳۱- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با ضخامت ۳/۸۵ میکرومتر روی زیرلایه ITO با میدان مغنایسی موازی صفحه لایه.



شکل ۴-۳۲- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با ضخامت ۴/۹۱ میکرومتر روی زیرلایه ITO با میدان مغناطیسی موازی صفحه لایه.



شکل ۴-۳۳- نمودار حلقه پسماند کبالت انباشت شده با ضخامت ۵٬۰۷ میکرومتر روی زیرلایه ITO با میدان موازی مغناطیسی صفحه لایه.

در جدول ۴–۱۳ تغییرات مغناطیسی نمونهها بر اساس تغییر پارامتر ضخامت آورده شده است. همانطور که در این شکلها دیده میشود با افزایش ضخامت لایههای نازک کبالت، مغناطش اشباع و مغناطش باقیمانده روند افزایشی داشته است که در توافق با نتایج بدست آمده میباشد [۳۷]. در حالیکه میدان وادارندگی تغییر محسوسی نداشته است.

میدان وادارندگی H _c (Oe)	مغناطش باقیمانده M _r (emu/cm ²)	مغناطش اشباع M _s (emu/cm ²)	ضخامت (μm)	نمونه
۱۶/۱۵	•/• 47	•/\\	٣/١۵	١
١۶/٣٨	•/• ۵۶	•/\٨	٣/٨۵	۲
۱۵/۹۶	•/• 44	•/٢٢	۴/۹۱	٣
18/22	•/•۶۵	•/٢٩	۵/• ۷	۴

جدول ۴-۱۳- تغییرات کمیتهای مغناطیسی کبالت انباشت شده روی زیر لایه ITO با ضخامتهای متفاوت.

۴–۸– نتیجه گیری

در این پایاننامه تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت بر روی زیرلایه آلومینیوم مورد بررسی قرار گرفت. این نتایج نشان داد با افزایش دمای الکترولیت توپوگرافی سطح دچار تغییر میشود و از کیفیت بهتری برخوردار میگردد. ضمن اینکه با افزایش دمای الکترولیت ضخامت لایههای انباشت شده بیشتر میشود. با افزایش ضخامت لایهها مغناطش اشباع و میدان وادرندگی نیز افزایش پیدا میکند.

در کار بعدی تاثیر ضخامت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای ناز ک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیومی مورد بررسی قرار گرفت و ملاحظه گردید که با افزایش ضخامت، فضاهای خالی بین تودهها پر شده و میزان کبالت در لایه افزایش مییابد، در واقع اندازه تودهها با افزایش ضخامت افزایش یافته است. همچنین با افزایش ضخامت لایههای ناز ک کبالت، مغناطش اشباع و مغناطش باقیمانده روند افزایشی داشته است در حالیکه میدان وادارندگی کاهش مییابد و در نهایت با افزایش ضخامت لایهها، این لایهها از حالت فرومغناطیس سخت به فرومغناطیس نرمتری تبدیل میشوند. بررسی تاثیر پتانسیل انباشت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای ناز ک کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیومی انجام گرفت. ملاحظه شد که با افزایش پتانسیل انباشت سطح نمونهها دارای یکنواختی بهتر شدهاند و یک تقارن هگزاگونال به وضوح دیده میشود. علاوه بر این با افزایش پتانسیل انباشت، ضخامت و مغناطش اشباع افزایش و میدان وادارندگی کاهش مییابد.

تاثیر ضخامت زیرلایه آلومینیوم بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت بررسی شد. طرح پراش اشعه ایکس کبالت انباشت شده از الکترولیت بر روی زیرلایه آلومینیوم رشد داده شده روی شیشه با ضخامت ۴۰۰ نانومتر در مقایسه با طرحهای پراش اشعه ایکس کبالت انباشت شده بر روی زیرلایه آلومینیوم از شدت کمتر و کیفیت ساختاری پایین تری برخوردار است که بیان میکند خواص ساختاری به ضخامت زیرلایه وابسته است. با افزایش ضخامت زیرلایه، ضخامت لایههای نازک کبالت به مقدار کمی کاهش پیدا میکند. با افزایش ضخامت زیرلایه مقادیر مغناطش اشباع و میدان وادارندگی کمی کاهش مییابد که منشأ آن ممکن است بدلیل الف) کاهش در ضخامت لایه و ب) نفوذ AI در لایه باشد.

تاثیر دمای الکترولیت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت بر روی زیرلایه سیلیکون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشها نشان داد که اندازه بلورکها دچار تغییر چندانی نشده است. با افزایش دمای الکترولیت کیفیت سطوح کاهش مییابد. با افزایش دمای الکترولیت کرنش نمونهها افزایش پیدا میکند و در نتیجه آن یکنواختی سطوح کاهش مییابد. با افزایش دما، مغناطش اشباع نمونهها کاهش مییابد. همچنین مقدار وادارندگی پس از اینکه در دو دمای ۲۸ و ۴۵ درجه سانتیگراد تغییر محسوسی نداشته در ۵۰ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. همچنین تاثیر ضخامت بر روی خواص ساختاری و مغناطیسی لایههای نازک کبالت بر روی زیرلایه ITO مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که با افزایش ضخامت لایههای نازک کبالت، مغناطش اشباع و مغناطش باقیمانده روند افزایشی داشته است در حالیکه میدان وادارندگی تغییر محسوسی نمیکند.

مراجع و منابع

[1] Ross C.A, Annu., (1994), Rev. Mater. Sci., 24, pp. 159.

[2] Ohgai T et al, (2003), Nanotechnology, 14, pp. 978.

[۳] پیرون د.ل.، "الکتروشیمی خوردگی"، ترجمه محمد علی گلعذار، اصفهان: مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، (۱۳۷۸).

[4] Nabiyouni G. (1997) PhD thesis: "*Giant Magnetoresistance in Electrodeposited Multilayers*", Place: Department of Physics, Bristol University, UK.

[5] Kazeminezhad I. (2001) PhD thesis: "Growth and characterization of Ni_xCu_{1-x} alloy films, Ni_xCu_{1-x}/Ni_yCu_{1-y} multilayers and nanowires.", Place: Department of Physics, Bristol University, UK.

- [6] Prinz GA. J., (1999), Magn Magn Mater., 57, pp. 200.
- [7] Pan T et al., (1997), J Appl Phys, 81, pp. 3952.
- [8] Moshfegh A. Z et al., (2003), Solid State Commun, 128, pp. 239.
- [9] Murarka SP., Silicide for VLSI applications. (1983), New York: Academic Press.
- [10] Ueda K et al., (2001), Appl Phys Lett, 79, pp. 988.
- [11] Parkin SSP., (1993), Phys Rev Lett, 71, pp. 1641.
- [12] www.Webelements.com
- [13] Schuster C. M et al., (1991), J.Phys.Condens.Matter, 3, pp. 4349
- [14] Sharma A et al., (2005), Vacuum 78, pp 47–51.
- [15] Azizi A et al, (2004), Applied Surface Science, 228, pp 320–325.
- [16] Sharma A et al., (2006), Materials Science and Engineering, B 130, pp. 120–125

[17] Munford M.L et al., (2001), Journal of Magnetism and Magnetic Materials 226-230,pp. 1613-1615.

[18] Fermento R et al., (2008), Journal of Non-Crystalline Solids, 354, pp. 5279–5281.

[19] Sasikumar D et al., (2010), Journal of Nanomaterials and Biostructures, 5(2), pp. 477–482.

[20] Bull. Korean Chem., (2007), Bull. Korean Chem. Soc., 28(12), pp. 2214-2218.

[21] Sahari A et al., (2008), Materials Chemistry and Physics, 108, pp. 345–352.

[22] Anto'n. R.L et al., (2002), Materials Science and Engineering, A335, pp. 94-100.

[23] Pandya D.K et al., (2009), Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 321, pp. 974–978.

[24] Omer F et al., (2001), Turk J. Phy., 25, pp. 27 33.

[25] Safak M et al., (2006), Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 304, pp. e784– e786.

[26] Stupakiewic A et al., (2008), Materials Science-Poland, 26, No. 4., pp. 1021–1026

[27] Liu X., PhD thesis:" Functional Modification in Ultrathin Films: from Metastable

Magnets to Molecular Materials.", Place: Department of Physics, Zhejiang University, China

(2004).

[28] Chopra K. L., (1996), McGRAW-Hill company, USA.

[۲۹] سوالونی هادی، "مبانی علم سطح در نانوفناوری"، جلد اول (۱۳۸۳) ، تهران: مـؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

[۳۰] روزنبرگ، اچ، ام، عشقی، ح، عزیزی، ح، فیزیک حالت جامد، (۱۳۷۶) مرکز نشر دانشگاهی.

[۳۱] عمر، ع، نبیونی، غ، فیزیک حالت جامد، (۱۳۸۱) انتشارات دانشگاه اراک.

[32] Robert C., (1999), Modern Magnetic Materials, princple and application, ISBN 0-471-15566-7., Wiley-VCH, November.

[33] Jiles D., (1991), Introduction to magnetism and magnetic materials, ISBN 0-412-38640-2., Chapman and Hall, London.

[34] Cullity B. D., Addison-Wesley (1972).

[35] Cullity B. D., (1956), Elements Of X-Ray Diffraction, Addison-Wesley, pp 99.

[36] Qadri S. B et al., (1999), Phys. Rev. B 60, pp. 9191.

[37] Manhabosco T.M. Manhabosco, I.L. Müller, (2008), Surface & Coatings Technology 202, pp. 3585–3590.

[38] Kim Y.M et al., (2003), Journal of Magnetismand Magnetic Materials, 254–255, pp.419–423.

Abstract

Metallic ferromagnetic layers such as Ni, Fe, Co and their alloys are applied widely in manufacturing technology of sensors, magnetic heads and data storage systems. In this thesis, we deposited Cobalt thin films on aluminum, silicon and ITO substrates by Electrodeposition method and their properties were investigated. X-ray diffraction results showed that the films have Hexagonal crystal structure with (002) preferred orientation. The effect of electrolyte temperature on the structural and magnetic properties of thin films of cobalt deposited on aluminum and silicon substrates was studied and increase in saturation magnetization and coercive filed observed by increase in electrolyte temperature for the films on Al substrate. While for films on silicon substrate, decrease in saturation magnetization and increase in coercive field observed by increase electrolyte temperature. The effect of thickness of the films on Al, ITO substrates was also studied on structural and magnetic properties of the films. The results showed that increase in saturation magnetization and residual magnetization of the films for both substrates with the increase in films thickness. The effect of deposition potential on the structural and magnetic properties of the films deposited on the aluminum substrate was investigated. The result of SEM analysis indicated improve in the films surface morphology by increase in deposition potential. Finally the effect of Al substrate thickness on the structural and magnetic properties of the films was studied and the result indicated dependence of structural and magnetic properties on the substrate thickness.

Keywords: Cobalt thin films, Electrodeposition, magnetic properties, structural properties, XRD, AGFM, SEM.



Shahrood University of Technology Faculty of physics

Master of Science Thesis

Effect of substrate and its thickness on properties Co thin films

Reza Ranjbar Dizaj

Supervisors:

Dr. M. E. Ghazi

Dr. M. Izadifard

Advisor:

Dr. M. Arab Chamjangali

February – 2011