



اثر زيرلايه نانوساختار NiAl بر خواص مغناطيسي لايه نازک CoCrPt

صاحبعلی منافی ^{(،*}، رضا پولادی ^۲، محمدعلی بهرهور^۳ و محمد الماسی کاشی^۴

۱- باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی – واحد شاهرود
۲- دانشگاه شیراز – گروه نانوتکنولوژی و نانوفناوری
۳- پژوهشگاه مواد و انرژی – پژوهشکده نیمههادی
۴- دانشگاه کاشان – گروه فیزیک

تاريخ ثبت اوليه: ١٣٨٩/٠٢/٢٠، تاريخ دريافت نسخه اصلاح شده: ١٣٨٩/٠٣/٢٥، تاريخ پذيرش قطعي: ١٣٨٩/٠۴/٢٩

چکیدہ

در این تحقیق، تغییرات ساختاری و خواص مغناطیسی لایه ناز ک NiAl و ضخامت لایه ناز ک CoCrPt-NiAl و مغاطیسی در در ذخیرهسازی دادهها بر روی دیسکهای سخت تحقیق شد. از این رو، اثر تغییرات درصد Ni پر روی زیرلایه NiAl و ضخامت لایه ناز ک CoCrPt بر خواص مغناطیسی بررسی شد. اندازه دانه لایههای نازک به کمک الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (SEM) تعیین شدند. اندازه گیری خواص مغناطیسی به کمک MSD انجام شد. نتایج آزمونهای مغناطیسی نشان دادند در سیستم CoCrPt-NiAl، در ترکیب NiAl با نسبت اتمی یکسان از Ni و Al و ضخامت لایه نازک آلیاژ CoCrPt برابر با ۲۹ نانومتر بیشترین نیروی وادارندگی که برابر با ۱۲۵۰ اورستد است را ایجاد مینماید.

واژههای کلیدی: لایه نازک CoCrPt-NiAl، مغناطیس شوندگی، نیروی وادارندگی، آلیاژ CoCrPt.

۱– مقدمه

از جمله مواردی که بطور گسترده در دنیا تحقیق می گردد، بحث مغناطیس و بهویژه لایههای نازک مغناطیسی است که در ساخت حافظهها نقش اساسی دارند [۱]. لایه نازک، به ماده یا موادی گفته می شود که با پوشش بر روی ماده دیگری، سبب ایجاد خواص فیزیکی، مکانیکی، اپتیکی یا الکترونیکی جدیدی گردد، بطوریکه خصوصیات ماده تشکیل دهنده لایه و خصوصیات سطحی که لایه بر روی آن رسوب داده شده را نداشته باشد [۱]. برای ساختن

ali_manafi2005@yahoo.com : تلفن: ۲۲۳-۳۳۹۴۲۸۳، دورنگار: ۲۷۳-۳۳۹۴۲۸۳، پستالکترونیکی: ali_manafi2005@yahoo.com

لایههای نازک، لازم است که ماده یا مواد مورد نظر، به صورت اتم، مولکول و یا مجموعه کوچکی از مواد این ذرات تبدیل شده و در جای دیگری به شکل معین و با ضخامت مناسب نشانده شوند. از آنجایی که ترکیب مواد تشکیل دهنده لایه همواره باید کنترل شود، ساخت لایهها در محیط خلا بالا انجام میگیرد. زیرا اگر روند فوق در محیط هوا انجام گیرد، تغییرات نامناسب زیر اتفاق میافتد. ماده یا مواد تبخیر شده در برخورد با ذرههای موجود در هوا از پیشرفت بازمانده و ماده تبخیر شده به صورت ابری از ذرات متراکم در میآید. در این حالت انباشت همگون

^{*} **عهدەدار مكاتبات:** صاحبعلى منافى

نشانی: شاهرود، بلوار دانشگاه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

اتمها بر سطح مورد نظر، دشوار خواهد شد. عناصر تشکیل دهنده هوا وارد لایه شده و سبب پیدایش ناخالصی ناخواسته می گردد. وجود برخی از عناصر با میل ترکیبی شدید در هوا سبب تشکیل ترکیبات شیمیایی با مواد مورد نظر برای تشکیل لایه می شود.

با توجه به مسائل فوق، ساخت اين گونه لايهها ميبايستي همواره در محیط خلا انجام پذیرد. این موضوع یکی از دلایل پیچیدگی و پر هزینه بودن ساخت لایههای نازک میباشد. روشهایی که عموما برای ساخت لایههای نازک مورد استفاده قرار می گیرند شامل رسوب فیزیکی و شیمیایی از بخار، رسوب به کمک باریکه یونی، رسوب به کمک باریکه مولکولی و شیوههای کندویاشی هستند. کندوپاش مگنوترون از شیوههای کندوپاشی است، که پلاسما با اعمال یک میدان مغناطیسی قوی به نواحی نزدیک سطح هدف نزدیک میشود. این میدان مغناطیسی باعث میشود که مسیر الکترونهای ثـانوی تـابش شـده از هدف منحرف شده و در یک حلقه بسته به موازات سطح کاتد حرکت مارپیچی انجام دهند. با اســتفاده از ایــن گونـه آرایش یک پلاسمای کاملا محدود در نزدیکی سطح کاتـد قرار می گیرد و باعث بالا رفتن احتمال یونیزاسیون و افزایش چگالی پلاسما در همسایگی هـدف مـیشـود. ایـن محدود شدن پلاسما باعث مزايای افزايش آهنگ پوششدهی، کاهش کندوپاش از پایه و دیوارهای محفظه، کاهش گرم شدن پایه در حین پوشش دهی و کاهش فشار مورد نیاز گاز می شود. این روش در تهیه لایه های با کیفیت بالا و ناخالصی کم و آهنگ پوشش دهی بالا کاملا موفق بوده است [1].

در زمینه تحقیقات مغناطیس و لایههای نازک مغناطیسی، راهکارهای افزایش حافظه کامپیوترها مطالعه می شود. به عنوان مثال IBM و GE، با هدف افزایش تراکم داده ها بر روی دیسکهای سخت، با مجزا کردن دانه های مغناطیسی روی دیسک، افزایش ظرفیت ذخیرهسازی ۳۰ تا ۴۰ مگابایت بر سانتیمتر مربع را نوید داده اند [۲]. راه رسیدن به چنین نتایجی در کاهش اندازه دانه های مغناطیسی و مجرزا کردن آنها است که افزایش نیرویی وادارندگی مغناطیسی و مغناطش پسماند را نتیجه می دهد.

برای حصول به این معنا، امروزه از زیرلایه ها استفاده وسیعی می شود. معمولا زیرلایه ها را در فیلم های حاوی Co بکار می برند. این کار به دو دلیل عمده صورت می پذیرد. اولا استفاده از یک زیرلایه ایده آل، باعث می شود تا یک جهت کریستالو گرافی خاصی رشد داده شود. به عنوان نمونه یکی از جهتهای مهم در رشد ترکیبات Co عنوان نمونه یکی از جهتهای مهم در رشد در این جهت جهت (۱۰۱) می باشد. برای رسیدن به این جهت کریستالو گرافی، زیر لایه Cr که معمولا در دمای اتاق به صورت (۱۱۰) رشد می کند، انتخاب می شود. در این حالت ثابت شبکه ای مشابه (۱۰۱) کبالت حاصل می شود که منجر به رشد Co بر روی Cr در راستای (۱۱۰) می گردد [۳].

ثانیا استفاده از زیرلایهها باعث کنترل نمودن اندازه دانههای مغناطیسی و جدایش بین آنها میشود. معمولا اندازه دانههای لایه مغناطیسی تحت تاثیر دانههای زیرلایه قرار می گیرد. بهعنوان نمونه در زیر لایه Cr اگر دقت شود، دانهها با یک حالت ستونی بر روی هم قرار می گیرند. بطوریکه به نظر می آید مانند کله قند در کنار یکدیگر واقع شدهاند. بین ستونهای کله قندی فاصله ایجاد می شود و این باعث می شود که فاصله دانهها در فیلم هم زیاد گردد. دراین حالت اندرکنش بین دانهها کم شده و در نتیجه نیروی وادارندگی زیاد می شود [۴].

از طرف دیگر، کاهش ابعاد دانهها در کاهش نویز هم موثر است. اما این کاهش تا حدی میتواند رخ دهد، زیرا اگر اندازه دانهها از مقدار معینی کوچکتر شوند، این امر منجر به رسیدن به مرز سوپر پارامغناطیس می گردد. مرزی که در آن، اثرات حرارتی به علت کوچکی دانهها میتوانند به در آت، ممانهای مغناطیسی را متاثر ساخته و موجب حذف اطلاعات شوند [1].

لذا، در تحقیقات زیرلایههای مختلفی آزمایش میشوند. زیرلایهها، تاثیر مهم و تعیین کنندهای روی میکروساختار و ترکیب لایههای نازک دارند. نوع و خواص زیر لایهها متناسب با نوع لایه های نازک تعیین میگردد. از زیرلایهها میتوان به عنوان نگهدارنده مکانیکی لایه نازک استفاده نمود. از مشخصات زیرلایهها میتوان به موارد زیر اشاره نمود [1]. همچنین گزارش گردیده است که استفاده از Cr-Si نیز جهت بهبود پارامترهای ساختاری لایه نازک بسیار مناسب است [۱۰]. یک راه مناسب دیگر رشد اپیتکسیال لایــه نــازک CoCrPt روی زیرلایه NiAl است.

اما به بکار بردن زیرلایه NiAl باعث می گردد که بین زیرلایه و فیلم انحراف کمتری ایجاد شده و با وجود درصد بالای Pt در ترکیب لایه، باز هم نشست بین صفحات در جهت خاصی رشد پیدا کند. لذا به یک ماده میانی نیاز است تا بین زیرلایه و لایه قرار دهیم و باعث تطابق شود. بنابراین هدف از انتخاب NiAl این است که بدون استفاده از لایه بینابینی با وجودی که در لایه نازک CoCrPt درصد Pt نسبتا بالاست، باز هم تطابق بین زیرلایه و لایه نازک رخ دهد. لذا در این تحقیق، Ni به Al با درصدهای نازک رخ دهد. لذا در این تحقیق، Ni به Al با درصدهای و ریزساختار لایه نازک مغناطیسی CoCrPt بررسی شود. با چنین جایگزینی، به دانههای ریزتری دست یافته و با تغییر درصد Ni از صفر تا صد درصد در زیرلایه، اثرات به کارگیری شرایط گوناگون مطالعه گردد.

۲- فعالیتهای تجربی

کندوپاش مگنوترون برای لایهنشانی برای ساخت لایه نازک استفاده شد. در تمامی آزمایشات انجام شده از اتمسفر گاز آرگون با فشار mbar ^۲ ۱۰ استفاده شد. خواص مغناطیسی و میکروساختاری فیلم تک لایه CoCrPt که روی پایه صفحه میکروساختاری فیلم تک لایه CoCrPt که روی پایه صفحه کریستالی (۱۰۰) Si رسوب داده شده، در حالتهای کریستالی (۱۰۰) Ni رسوب داده شده، در حالتهای گوناگون مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. طی این حالتها زیرلایه Ni-Al با درصدهای متفاوت این دو عنصر به روش کندوپاشی ساخته گردید و لایه نازک CoCrPt بر روی آن انباشت داده شد. در این قسمت، روی دو زمینه متفاوت از تهیه مواد و آزمایشات تحقیق گردید.

الف: در نمونههای ساخته شده در این قسمت، ضخامت لایه نازک CoCrPt ثابت گرفته شد. با تغییردادن ضخامت زیرلایه NiAl با درصد عناصر ثابت، یک سری نمونه ساخته شد. سپس با ثابت گرفتن ضخامت زیرلایه NiAl با تغییر دادن درصد عنصر Ni در زیرلایه، نمونههای دیگری

در كاربردهای الكترونیكی بهعنوان عایق نیز عمل نمایند. از پایداری مناسبی برخوردار باشند. با لایه نازک واکنش شیمیایی انجام ندهند. چسبندگی کافی بین لایه و زیرلایه (در حین آزمایش، پـس از آزمایش، در دمای زیاد و در حـین عملیات حرارتـی) ایجاد نماینـد. در کاربردهای الکترونیکی برای ساخت عناصری که قابلیت کاربرد در المانهای الکترونیکی را دارند، میبایستی رسانای حرارتی مناسبی باشند. سطح آنها بایستی تخت و صاف باشد. از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و قابل تهیه باشند. وزن آن متناسب با کاربرد مورد نظر باشد. عاری از آلودگی باشند. در مواردی که به رشد نیاز است، باید تک کریستال بوده و ساختار و جهت ترجیحی رشد مشخصی داشته باشند [۱]. یکی از عمدهترین زیرلایهها، Cr است که در ساخت فیلمهای بسیاری به کار رفته است. اما این زیرلایـه در مقایسه با NiAl، از دانههای بزرگتری برخوردار است. در این مقاله، زیرلایه NiAl به این منظور به کار گرفته شد، تا علاوہ بر اینکه اندازہ دانہھای مغناطیسے تا حد ممکن کوچک شوند، میزان نیروی وادارندگی مغناطیسی نیز کم نگردیده و رشد دانهها در جهت کریستالوگرافی خاصی صورت پذیرد [۴]. یکی از این جهات که مورد نظر است، جهت نشست بین صفحات (۱۰۰) Co و (۱۱۲) NiAl است. CoCrPt و آلیاژهای سه گانه مشابه زمینه مناسب ساخت محیطهای ضبط و ذخیره اطلاعات هستند. زیرا نیروی وادارندگی بالای مورد نیاز به سادگی از آنها به دست میآید. بکار بردن Pt در بهدست آوردن نیروی وادارنده بالا بسیار مهم است. سهم Pt در بالا بردن نیروی وادارنده آلياژ CoCrPt حدود ۴۰ درصد میباشد [۵]. يلاتين باعث افزايش ثابتهاي شبكهاي آلياژهاي كبالت مى شود [8]. البته با افزوده شدن درصد پلاتين، عدم تطابق شبکهای بین CoCrPt و زیرلایه کروم بوجود می آید [۴،۷]. بنابراین دسترسی به یک ساختار درون صفحهایی مناسب در سیستم CoCrPt/Cr مشکل می شود. در این حالت یا باید از یک عنصر دیگر جهت بالا بردن پارامتر شبکهای کروم استفاده کرد یا از یک بین لایهایی استفاده نمود [۸]. مثلا نشان داده شده است که استفاده از یک لایه بینابینی Cr-Ti باعث بهبود رشد ایے تکسیال CoCrPt و وادارندگی درون صفحهای نسبت به Cr می گردد [۹].

R

ساخته گردید. بر اساس مدت زمان انباشت نیکل از هـدف تا پایه، مقدار عنصر نیکل بین ۳۰ تا ۷۰ درصد در نمونهها تغییر داده شد.

ب: در این قسمت، نمونـههـایی سـاخته شـد کـه در آنهـا، ضخامت زیرلایـه NiAl ثابـت، ولـی ضـخامت لایـه نـازک CoCrPt تغییر داده شد.

با استفاده از TEM و XRD خواص میکروساختاری آنها بررسی گردید. تغییرات ساختار داخلی به کمک دستگاه پراش پرتو ایکس Philips تحت ولتاژ kV و جریان ۲۵ mA بررسی شد. تعیین اندازه دانهها براساس رابطه شرر (رابطه ۱) به دست آمد.

$$d = \frac{0.9\lambda}{bCos \ \theta}$$

در این رابطه b پهنای بلندترین پیک در نیمه ارتفاع آن بر حسب رادیان، λ طول موج پراش پرتو ایکس برحسب d ،nm و β زاویه تفرق بلندترین پیک بر حسب رادیان میباشد. این رابطه هنگامی قابل استفاده است که اندازههای دانههای کریستالی کمتر از μm // (۸۰۰۰) باشد [۱۱]. بهمنظور بررسی رفتار مغناطیسی لایه نازک از VSM (vibrating sample magnetometer) همچنین با رسم نمودارهای مغناطیس شوندگی آنها بر حسب میدان مغناطیسی اعمالی در ضخامتهای متفاوت از CoCrPt و درصدهای مختلف N، خواص مغناطیسی از نمونهها مورد بحث و بررسی قرار گرفت.

۳- نتايج و بحث

Ni-Al تغییر درصد Ni در زیرلایه Ni-Al

در سیستم آلیاژی Ni-Al، نسبت عناصر تشکیل دهنده نقش مهم و اساسی در میزان وادارندگی مغناطیسی دارد [۱۲]. البته باید توجه داشت که به نسبت مواد بالک، بر روی لایه نازک NiAl، کار کمتری صورت پذیرفته است (۱۳]. از این رو درصدهای مختلف نیکل در ترکیب بین فلزی Ni-Al استفاده شد. تصویر TEM زیرلایه Ni₃₀Al₇₀ در شکل ۱ مشاهده می گردد.



(الف)



(ب) شکل ۱: الف) تصویر TEM زیرلایه Ni₃₀Al₇₀ و ب) الگوی پراش اشعه ایکس NiAl (ضخامت فیلم ۵۰ nm است).

الگوی پراش صفحات تفرق شبکه bcc را نشان می دهد. با آنکه ساختار بلوری fcc ،Ni است و ساختار بلوری Al هـم fcc است، ولی وقتی این دو عنصر با یکدیگر کاملا ترکیب می شوند یک ساختار bcc ایجاد می کنند. با توجه به اینکه ساختار بلوری کروم هم cod است، این تطابق ساختاری شرایط مشابهی را برای مقایسه و رشد لایه نازک بر روی آنها فراهم می نماید [۱۳،۱۴]. برای بررسی اثر تغییر درصد آثر تغییر ضخامت ژابت (۵۰ نانومتر) و همچنین اثر تغییر ضخامت زیرلایه ماره الگوی پراش پرتو ایکس مربوط به دو دسته نمونههای فوق الذکر به دست آمد. در دسته اول نمونهها، درصد Ni به ترتیب ۳۹، ۴۴/۴ و



(1)





با تغییر درصد عناصر تشکیل دهنده ترکیب زیرلایه NiAl پیک جدیدی ایجاد نگردید. همچنین پیکها با افزایش درصد عنصر نیکل، به سمــت زوایـای کـوچکتر شیفت پیدا کردهاند. پس ساختار کریستالی سیستم عوض نشده و تنها شیفت پیک به سمت زوایای کمتر را داریـم. علـت آن این است که چون اتـم Ni از اتـم Al بزرگتـر اسـت (عـدد این است که چون اتـم Al از اتـم ۸۱ بزرگتـر اسـت (عـدد درصد Ni و عدد اتمی Al، ۱۳ میباشـد)، بـا افـزایش درصد Ni از تراکم اتمهای Al کاسته شده و ثابت شبکهای زیاد میشود.

با زیاد شدن ثابت شبکهای فاصله بین صفحات اتمی (b) زیاد می گردد. با توجه به قانون براگ ($n\lambda = 2d \sin\theta$)، چون طرف دوم رابطه ثابت است با افزایش b، θ تاهش و در نتیجه θ کاهش یافته است [۱۱]. مقدار ضخامت زیرلایه در دسته دوم نمونهها ۱۰۸، ۱۱۱، ۱۵۰ و ۱۵۱ نانومتر است.

این نمودار در شکل ۳ ملاحظه می گردد. همانطوریکه شکل ۳ نشان می دهد، با افزایش ضخامت زیرلایه شدت پیک افزایش و پهنای آن کاهش می یابد. معادله شرر بیان نموده است که با افزایش اندازه دانه یا ضخامت و اندازه ذرات در محدوده نانومتر در مواد شدت پیک افزایش و پهنای آن کاهش می یابد.



۲-۳ تغییر ضخامت فیلم CoCrPt با ثابت نگه داشتن ضخامت زیرلایه NiAl

در این قسمت، بر روی زیرلایه Ni₃₀Al₇₀ به ضخامت ثابت ۲۰ نانومتر، لایه نازک CoCrPt با ضخامتهای متغیر ۱۲ تا ۲۲ نانومتر انباشت گردید. در شکل ۴ منحنی مغناطیس شوندگی بر حسب میدان اعمالی آمده است. نیروی وادارندگی نمونههای ساخته شده در ضخامتهای مختلف در شکل ۵ آمده است.



شکل ۴: نمودار تغییرات مغناطش بر حسب میدان اعمالی در ضخامتهای مختلف لایه نازک CoCrPt.

ميآيد.



همانطوریکه شکل فوق نشان میدهد، حداکثر H_c بدست آمده، به ازاء ضخامت حدود ۸۰ m لایه ناز ک CoCrPt است و مقدار آن تقریبا برابر با ۶۰۰ اورستد است. بنابراین با افزایش ضخامت فیلم ابتدا اندرکنش بین دانهها کم شده و نیروی وادارندگی افزایش مییابد. سپس با افزایش بیشتر ضخامت مجددا نیروی وادارندگی کم میشود. پس از یک حدی که اندازه دانهها زیادتر شود اثر منفی روی نیروی وادارندگی دارد و آنرا کاهش میدهد.

۳−۳- تغییر ترکیب زیرلایه Ni-Al بر خواص مغناطیسی

این بار ضخامت فیلم CoCrPt به میزان ۳m ۴۸/۶ ثابت نگه داشته شد. در نمونههای مختلف زیرلایه Ni-Al، درصد Ni از ۳۰ تا ۷۰ تغییر داده شد.

در شکلهای ۶ قسمت الف، مقدار مغناطش و نیروی وادارندگی زیرلایههای مختلف در درصدهای مختلف Ni از ۳۳، ۳۸، ۴۲ و ۴۶ و در قسمت ب، مقدار مغناطش و نیروی وادارندگی در درصدهای ۵۰، ۵۳، ۵۵، ۵۹ و ۶۵ آورده شده است.

در شکل ۷ نیـروی وادارنـدگی در درصـدهای مختلـف Ni آورده شده است. همانطور که در شکل ۷ مشـهود اسـت، بهترین مقدار نیـروی وادارنـدگی بـرای زیرلایـه NiAl، بـا



نسبت درصد ساخت نیکل و آلومینیوم ۵۰ درصد بهدست

الف) ۲۱۱ و ۲۱و ب) ۲۵۰۵ ۲۵۰.

حداکثر نیروی وادارنده در این حالت حدود ۱۲۵۰ اورستد است. قبلا دیده شد که وقتی از زیرلایه NiAl با ترکیب ۳۰ درصد نیکل استفاده شد، ماکزیمم نیروی وادارنده بین ۶۰۰ تا ۷۰۰ اورستد می گردید. پس حالت بهتری ایجاد شده است. هرچند که هنوز هم مطلوب نیست، ولی از قبل بهتر است.



1300 1200 1100 -1000 . 900 -800 700 600 35 40 45 50 55 60 65 Ni (at%) شکل ۷: نمودار تغییرات Hc بر ح ب در صدهای مختلف Ni در نمونههای CoCrPt/NiAl.

۴- نتيجەگىرى

همانطوری که میدانیم کاهش ابعاد دانهها در کاهش نویز موثر است. اما این کاهش، تا یک حدی میتواند رخ دهـد، چرا که اگر اندازه دانهها از مقدار معینی کوچکتـر شـوند، این امر منجر به رسیدن به مرز سوپر پارامغناطیس می گردد. مرزی که در آن، اثرات حرارتی به علت کوچکی دانهها میتوانند به راحتی ممانهای مغناطیسی را متاثر ساخته و موجب حذف اطلاعات شوند. برای حصول به این

معنا، امروزه از زیرلایهها استفاده وسیعی میشود. در این تحقیق، خواص مغناطیسی و میکروساختار لایه نازک آلیاژ CoCrPt که روی زیرلایه NiAl انباشت داده شده بود، مطالعه گردید. هدف این تحقیق، دستیابی به روشی جهت افزایش تـراکم دادهها بـر روی دیسـکهای سخت بود. راه رسیدن به این هدف در مجزا کردن دانههای مغناطیسی و کاهش اندازه دانههاست، تا به افزایش نیروی وادارندگی و مغناطش پسماند که مورد نیاز است، رسیده شود. بنابراین اثر تغییر اندازه ضخامت زیرلایه NiAl بررسی شد. علاوہ بر این میزان تغییر ترکیب شیمیایی بر مغناطیس پذیری لایه نازک آلیاژ CoCrPt بررسی شد. نتایج به دست آمده نشان دادند که: الف- با بكار بردن زيرلايه Ni₃₀Al₇₀ به ضخامت ثابت ۷۰ نانومتر، لایه نازک CoCrPt به ضخامت های متغیر بین

۱۲-۷۲ نانومتر بر روی پایه سیلیکون، انباشت داده شد. حداکثر مقدار وادارندگی به ازای ضخامت ۵۰ نانومتر به میزان ۶۰۰ اورستد بهدست آمد. ب- درصد عنصر نیکل در ترکیب زیرلایه بین ۷۰-۳۰ تغییر داده شد و لایه نازک به ضخامت ۴۸/۶ نانومتر بر

روی آن انباشت داده شد. بیشترین میزان وادارندگی در این حالت به مقدار ۱۲۵۰ اورستد بهدست آمد. نتايج نشان دادند براي افزايش ميزان نيروى وادارندكي برای مواد فرومغناطیس سخت در تحقیق فوق ترکیب NiAl با نسبت اتمی ۱ به ۱ از عناصر تشکیل شونده بیشترین نیروی وادارندگی را دارد.

علاوہ بر این لایہ نازک CoCrPt بے ضخامت ۴۹ نانومتر بیشترین نیروی وادارندگی را دارد. همچنین اندازه دانه از NiAl بین ۴۰ تا ۵۰ نانومتر بیشترین نیروی وادارندگی را دارد.

سیاسگزاری

وظيفه خود مىدانيم از باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد واحد شاهرود، محققین، مسئولین و کارشناسان محترم آزمایشگاههای دانشگاه شیراز و تمام افرادی که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند تشکر و قدردانی نماييم.

مراجع

[1] B.D. Cullity, "Introduction to Magnetic Materials", Addison, Wesley Publishing, 1972.

[2] J.I. Martin, J. Nogues, K. Liu, J.L. Vicent, I.K. Schuller, Journal of Magnetism and Magnetic materials, 256, 2003, 449. [3] N.H. Duc, D.T. Huong Giang, A. Fnidiki, J. Teillet,

Journal of Magnetism and Magnetic materials, 262, 2003, 420. T. Chen, T. Yamashita, IEEE Transactions on Magnetics, [4] 24, 1988, 2700.

M. Almasi-Kashi, P.J. Grundy, G.A. Jones, H. Nadgaran, [5] X. Zhao, Journal of Magnetism and Magnetic materials, 248, 2002 190

P.J. Grundy, Journal of Physics D-applied physics, 41, [6] 1998, 2975.

[7] G. Bate, Journal of Magnetism and Magnetic materials, **100**, 1991, 413.

[8] D. Kumar, J. Narayan, A.V. Kvit, A.K. Sharma, J. Sankar, Journal of Magnetism and Magnetic materials, 232, 2001, 161.

[9] K. Tanahashi, R. Arai, Y. Hosoe, IEEE Transactions on Magnetics, 41, 2005, 577.

[10] T.S. Suzuki, Y. Sakka, K. Kitazawa, Advanced Engineering Materials, 3, 2001, 490.

JR



[13] L.Y. Sheng, J.T. Guo, L.Z. Zhou, H.Q. Ye, *Materials Science and Engineering A*, **500**, 2009, 238.

[14] C. Chang, M. Plumer, C. Brucker, J. Chen, R. Ranjan, E.

Van, J. Yu, D. Karns, Y. Kubota, G. Ju, D. Weller, *IEEE Transactions on Magnetics*, **38**, 2002, 1637.

[11] B.D. Cullity, "*Elements of X-ray diffraction*", second edition, edited by Morris Cohen, Addison- Wesley, publishing, San Diego, 1977.

[12] N.C. Oswald, C.T. Uwakweh, C.T. Liu, *Intermetallics*, **15**, 2007, 98.

5°

