یادداشت پژوهشی

مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران، جلد ۹، شمارهٔ ۲، تابستان ۱۳۸۸

مجلهٔ پژوهش فیزیک ایران

خواص نوری- مغناطیسی و ضرایب اپتیکی لایه‌های نازک منگنز-کبالت

ابراهیم عطاران کاخکی[۱] و مهدی عادلی فرد[۲]

۱. گروه فیزیک، دانشکدهٔ علوم دانشگاه فردوسی، مشهد صندوق پستی ۹۱۷۷۵/۱۴۳۶

۲. گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور،مشهد

پست الکترونیکی: attaran@ferdowsi.um.ac.ir

(دریافت مقاله: ۸۶/۱۲/۷ ؛ دریافت نسخهٔ نهایی: ۸۷/۷/۱۲)

چکیده

با گسترش فناوری اطلاعات و ارتباطات، استفاده از نور قطبیدهٔ لیزر، برای کاربردهای مهمی چون کلیدزنی و ذخیرهٔ اطلاعات در لایه‌های نازک فرومغناطیس و فرو الکتریک، مورد توجه قرار گرفته است [۱]. برای انجام تحقیق و افزایش کاربری این لایه‌ها، رسم دقیق پسماندنوری و مغناطیسی لایه‌ها بسیار مهم است. در این تحقیق با استفاده از نور لیزر قطبیده شدهٔ خطی، مدارهای الکترونیکی خاص و نیز نرم افزار ویژه‌ای که برای ثبت اطلاعات و پردازش آنها طراحی شد سیستمی ساخته شده است که توانایی رسم دقیق پسماند الکتریکی ومغناطیسی را داراست. در تحقیق انجام شده خواص نوری و مغناطیسی لایه‌های نازکی از منگنز - کبالت به صورت تک لایه‌ای و دولایه‌ای بر روی بستر شیشه‌ای بررسی شده است. لایه‌ها به روش اسپری پایرولیز و در شرایط متفاوت و لازم برای هر لایه به طور جداگانه با کنترل دما و فشار و میزان آهنگ اسپری لایه گذاری گردیده است. لایه‌های ساخته شده شامل تک لایه‌های : اکسید کبالت ، اکسید منگنز و لایه‌های ترکیبی از منگنز و کبالت با فرمول شیمیایی وتناسب عنصری به صورت $Mn_xCo_{۳-x}O_۴$ $(۰\le x\le ۱)$ و دولایه‌ای منگنز و کبالت به صورت $MnO/Co_۳O_۴$ می‌باشند .با توجه به این که در لایه نشانی دمای بستر، آهنگ اسپری و تمیزی سطح بستر از اصول مهم هستند ،با رعایت این موارد لایه‌های نازک یکنواخت بر روی بستر شیشه‌ای جایگذاری شد. اندازه‌گیری چرخش اثر فارادی واثر کر برای لایه‌های ذکر شده توسط سیستم پسماند رسم اپتیکی انجام گرفت وخواص اپتیکی لایه‌ها نیز با استفاده از نرم افزاری که بدین منظور براساس مطالعهٔ روش تئوری سان- پل(Swane Poel) آماده شد محاسبه وتعیین شدند. اندازه‌گیریها نشان می‌دهندکه اولاً لایه‌ها در مقادیر کم منگنز نسبت به کبالت(کمتر از ۲۰٪) با توجه به حلقه پسماند فرومغناطیس‌اند. ثانیاً، میزان چرخش نورقطبیده خطی در لایه‌های ترکیبی نسبت به لایهٔ خالص اکسید کبالت افزایش می‌یابند. از طرفی نتایج به دست آمده از خواص اپتیکی نشان می‌دهد که لایهٔ اکسید کبالت دارای دو مقدار مجازگاف انرژی بوده که در توافق با مطالعات قبلی در این زمینه بوده و از طرفی بررسیها نشان داد که در لایه‌های ترکیبی منگنز وکبالت با افزایش نسبت منگنز به کبالت تا میزان ۲۰٪، مقادیرگاف انرژی تا حدود ۰/۱۳eV کاهش یافتند.

واژه‌های کلیدی: نوری-مغناطیسی، اثر فارادی، اثر کر

۱. مقدمه

امروزه با گسترش فن‌آوری اطلاعات، انتقال سریع اطلاعات و داده‌هایی که به خاطر پیشرفت سریع علوم در عرصه‌های مختلف تولید می‌شود، اهمیت فراوان‌یافته‌است. علاوه براین ذخیرهٔ حجم عظیم این اطلاعات و بازخوانی مجدد آنها امری است که مشکلات زیادی را ایجاد کرده‌است. کشف لیزر و ساخت فیبرهای باریک شیشه‌ای، دریچه‌ای جدید را برای انتقال سریع داده‌ها گشود. نشاندن اطلاعات دیجیتالی به‌صورت صفر و یک بر روی باریکه‌ای از لیزر، اساس انتقال اطلاعات به‌وسیلهٔ لیزر است و برای این کار به ابزاری به نام مدوله‌ساز نیاز است که بتواند در سرعت‌های بالا و به شیوه‌ای نظام‌یافته، تغییری در موج ایجاد کند. این تغییر می‌تواند چرخش راستای قطبش نور لیزر باشد. به بیان ساده‌تر می‌توان یک راستای مشخص را به عنوان صفر و راستای دیگر را به

عنوان‌یک در نظر گرفت تا در آنسوی فیبر نوری به‌وسیلهٔ یک صفحهٔ قطبشگر این صفر و یکها از هم جداشوند. بااستفاده از خواص نوری- مغناطیسی لایه‌های فرومغناطیسی یعنی اثر نوری- مغناطیسی کرواثر نوری- مغناطیسی فارادی می‌توان چنین مدوله‌سازی را ساخت.

بازخوانی سریع داده‌ها از روی صفحات مغناطیسی نیز با استفاده‌از خواص نوری- مغناطیسی لایه‌های فرومغناطیس امکان پذیر است. با اندازه‌گیری میزان چرخش راستای قطبش نور بازتابیده از سطح یک لایهٔ مغناطیده، می‌توان صفر و یکها را از هم تفکیک کرد و اطلاعات را بازخوانی نمود. استفاده از این روش برای بازخوانی اطلاعات باعث کوچکتر شدن حوزهٔ ثبت می‌شود، چرا که بازخوانی با هدهای مغناطیسی احتیاج به سطحی وسیعتر از لبه هد دارد. بدین‌ترتیب می‌توان شاهد افزایش چگالی ثبت اطلاعات تا چند ترا بایت در اینچ مربع بود. علاوه بر این سرعت بازخوانی اطلاعات نیز به‌طور چشمگیری افزایش خواهدیافت.

۲. ساخت لایه‌های نازک منگنز- کبالت

مواد مغناطیسی تنوع پیچیده‌ای از الگوها و ساختارهای منحصر به فردی را در مقیاسهای مختلف از خود نمایش می‌دهند. روشهایی که چنین نمونه‌هایی ساخته می‌شوند در حال حاضر به خاطر کلیدی بودن آنها در فناوریهای مربوط به حسگرها، وسایل حافظه وثبت داده‌ها از اهمیت خاصی بر خوردارند. به طور کلی روشهایی که به منظور جایگذاری لایه‌های نازک مغناطیسی مورد استفاده قرار گرفته اند عبارت‌اند از: اسپاترینگ، جایگذاری بخار شیمیایی، جایگذاری از محلول شیمیایی، جایگذاری الکترو شیمیایی، روش فرو بردن در محلول، روش سل- ژل، روش اسپری پایرولیزیز، جایگذاری پالس- لیزر. از آن جا که هریک از روشهای فوق پتانسیل معینی در تهیه لایه‌های نازک دارا می‌باشند، بنابراین جهت بررسی مشخصه‌های خاصی از لایه‌ها تنها بعضی از روشهای مذکور ارجعیت دارند.

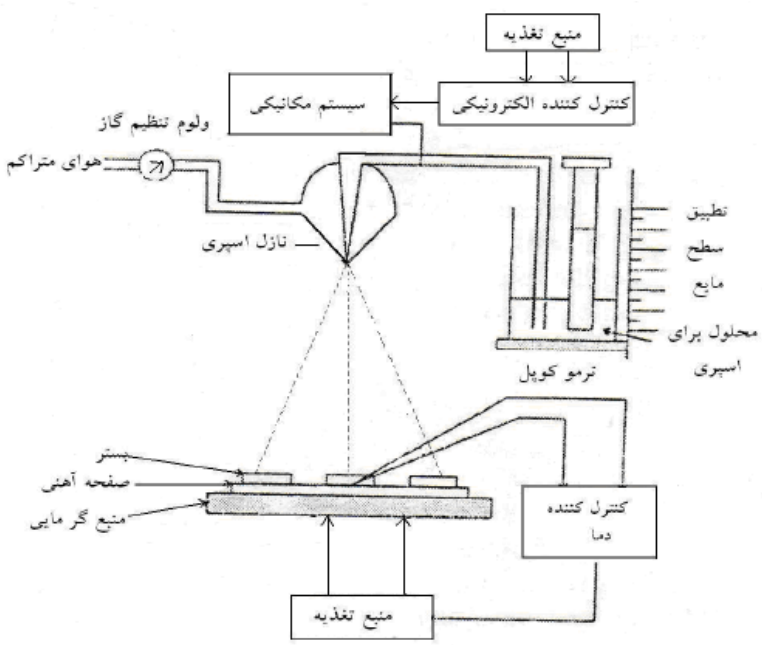
در این تحقیق به بررسی خواص نوری مغناطیسی لایه‌های نازک منگنز- کبالت به روش اسپری پایرولیزیز می‌پردازیم، بنابراین با توجه به مطالعهٔ کارهای انجام شده در زمینه جایگذاری این لایه‌ها به روش اسپری پایرولیزیز، جایگذاری لایه‌ها مطابق پارامترهای جداول زیر انجام شده است.

در فرآیند جایگذاری لایه بر روی بستر به روش اسپری، محلولی که از قبل جهت اسپری آماده شده است توسط گاز یا هوای فشرده به صورت پودر در می‌آید طوری که آنها به شکل ریز قطره‌هایی به بستر می‌رسند. واکنشهای شیمیایی به صورتی انتخاب می‌شوند که غیر از محصول مورد نظر در دمای لایه نشانی، مواد دیگر حاصل از واکنش فرار باشند.

شکل ۱ یک نوع سیستم اسپری را نشان می‌دهد. اجزای تشکیل دهنده آن عبارت‌اند از:افشانه اسپری، محلول ازپیش آماده شده، گرم کننده بستر، کنترل کننده دما و هوای متراکم یا گاز فشرده. در این روش عمل جایگذاری اسپری به صورت عمودی ومایل با حرکات منظم مانا یا خطی افشانه اسپری به طور متناوب صورت می‌گیرد. خصوصیات لایه بستگی به آهنگ آنیون به کاتیون، آهنگ اسپری، دمای بستر،گاز حامل، سایزریز قطره‌ها و همچنین آهنگ سرد شدن پس از جایگذاری دارد. ضخامت لایه بستگی به فاصله بین افشانه اسپری و بستر،کمیت و همچنین کیفیت محلول اسپری شده دارد[۲]. پارامترهای جایگذاری لایه‌های نازک منگنز-کبالت در جدولهای ۱ و ۲ و ۳ آمده است.

۳. اندازه‌گیری چرخش کر و فارادی

برای انجام آزمایشهای لازم و تحقیق در مورد رفتار نوری- مغناطیسی لایه‌ها، از طرحواره زیر (شکل۲) استفاده گردید. ابتدا یک توصیف کلی از چگونگی عملکرد سامانه فوق را بیان نموده وسپس به معرفی اجزای سامانه وکاربرد هریک از آنان می‌پردازیم. با توجه به آنکه راستای قطبش نور قطبیده، در هنگام گذر یا بازتابش از یک لایه فرو مغناطیس که در مجاورت میدان قرار گرفته است می‌چرخد و میزان این چرخش با شدت میدان اعمالی و به تبع آن میزان پذیرفتاری ماده رابطه دارد، می‌توان با ثبت تغییرات شدت در میدانهای مختلف و محاسبه



شکل ۱. نمایی از سامانهٔ اسپری پایرولیز.

جدول ۱. پارامترهای لازم برای جایگذاری لایهٔ اکسید کبالت و لایه‌های ترکیبی منگنز وکبالت.

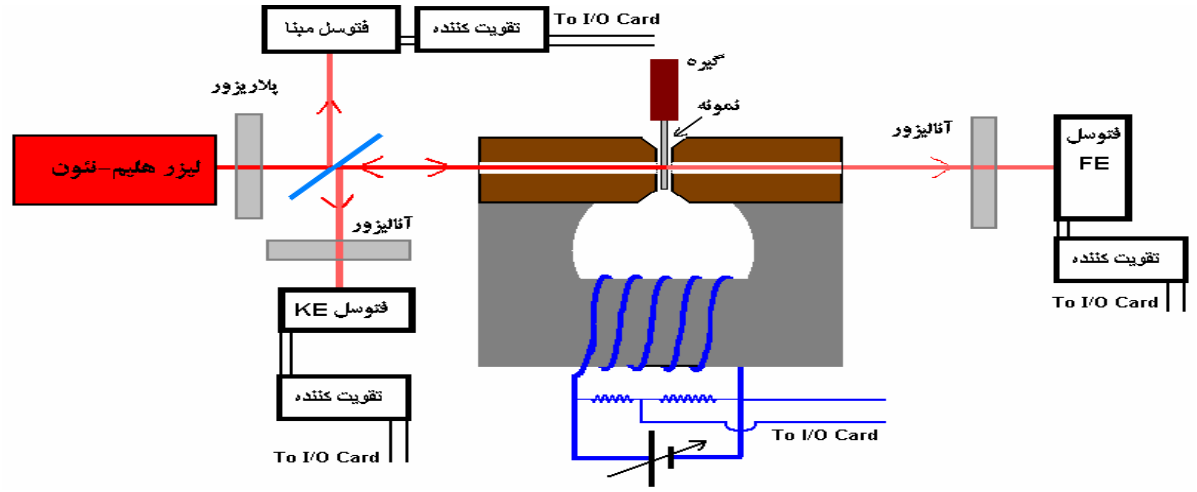
لایه	محلول	حجم محلول اسپری	فشار هوا	دمای بستر	ارتفاع نازل تا بستر	آهنگ اسپری
Co_3O_4	$CoCl_2$,distiled water	۲۰ cc	۲/۵ bar	۳۰۰ ^{oc}	۴۵ Cm	۱۰cc/min
$Mn_{0.25}Co_{2.75}O_4$	$Mn(NO_3)_2{,}4H_2O$, $Co(NO_3)_2{,}6H_2O$,distiled water	۲۰ cc	۲/۵ bar	۳۰۰ ^{oc}	۴۵ Cm	۱۰cc/۳min
$Mn_{0.5}Co_{2.5}O_4$	$Mn(NO_3)_2{,}4H_2O$, $Co(NO_3)_2{,}6H_2O$,distiled water	۲۰ cc	۲/۵ bar	۳۰۰ ^{oc}	۴۵ Cm	۱۰cc/۳min

جدول۲. شرایط لایه نشانی برای دو لایه‌ای اکسید منگنز بر روی اکسید کبالت (Mno/Co_3O_4).

مر احل اسپری	محلول	حجم محلول	دمای بستر	فشار هوا	ارتفاع نازل تا بستر	آهنگ اسپری
۱	کلرید کبالت در آب مقطر	۲۰cc	۳۰۰°C	۲/۵ bar	۴۵ cm	۱۰ cc/min
۲	نیترات منگنز در آب مقطر	۲۰cc	۳۰۰°C	۲/۵ bar	۴۵ cm	۱۰ cc/min

جدول۳. شرایط لایه نشانی برای دو لایه‌ای اکسید کبالت بر روی اکسید منگنز Co_3O_4/MnO.

مر احل اسپری	محلول	حجم محلول	دمای بستر	فشار هوا	ارتفاع نازل تا بستر	آهنگ اسپری
۱	نیترات منگنز در آب مقطر	۲۰cc	۳۰۰°C	۲/۵ bar	۴۵ cm	۱۰ cc/min
۲	کلر ید کبالت در آب مقطر	۲۰cc	۳۰۰°C	۲/۵ bar	۴۵ cm	۱۰ cc/min



شکل۲. طرح واره مورد استفاده.

زاویه مربوطه نمودار چرخش نور قطبیده خطی را برای هر لایه رسم نمود. شکل این نمودار تعیین کننده امکان کاربرد یک لایه در فناوری کلید زنی یا فناوری ثبت اطلاعات است [۳].

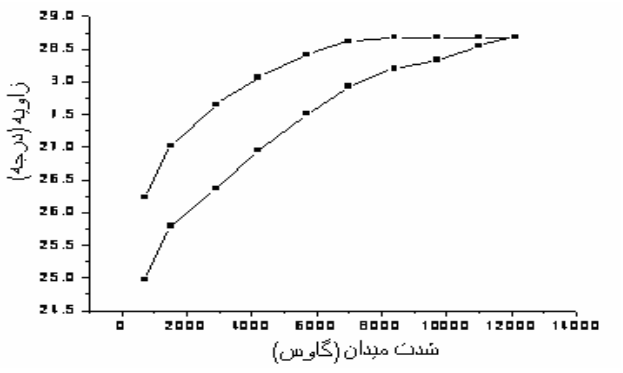
در ابتدا نور لیزر هلیم-نئون به صفحهٔ قطبشگر می‌رسد و در هنگام گذر در راستای مشخصی قطبیده خطی می‌شود و از یک تیغهٔ شیشه‌ای با زاویهٔ ۴۵ درجه عبور می‌کند. نور در مسیر خود به نمونه می‌رسد که در یک میدان مغناطیسی با راستای مشخص قرار دارد. بخشی از نور از لایه بازتابیده و بخشی از آن عبور می‌کند. نور عبوری و باز تابیده شده پس از گذر از آنالیزورهای مربوطه به فتوسلها رسیده که تغییرات شدت جریان در این فتوسلها نشان دهندهٔ تغییرات در شدت نور دریافت شده توسط فتو سل ونوع رفتار لایه در مدهای عبوری (اثر فاراده) و بازتابی (اثر کر) است. با اعمال میدان مغناطیسی مورد نظر که سبب ناهمسانگردی در ماده خواهد شد، راستای قطبش نور می‌چرخد و نوع قطبش از حالت خطی خارج و به حالت بیضوی تبدیل می‌شود. البته میزان چرخش در اینجا به شدت میدان بستگی دارد و چون آنالیزورها ثابت‌اند شدت نور خروجی از آنها براساس قانون مالوس (رابطهٔ ۱) تغییر خواهد کرد:

$$I = I_{\circ} cos^{۲}\theta\,, \qquad (۱)$$

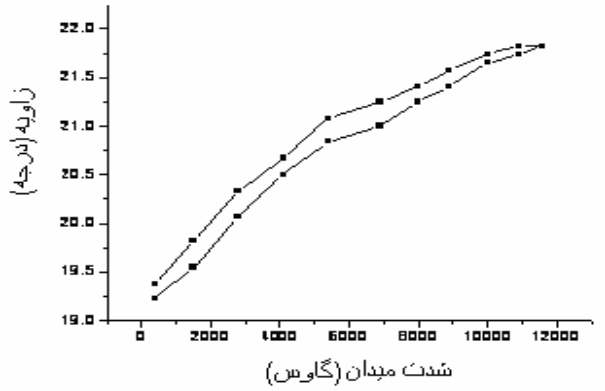
که $I_{\circ}$ شدت بیشینه در هنگام همراستایی محورهای تراگسیل قطبشگر اولی با هر یک از دو قطبشگر دیگر است و θ زاویهٔ بین آنهاست. نمونه‌ها پس از ساخت درسیستم پسماند رسم کن اپتیکی توضیح داده شده با انجام کلیهٔ مراحل لازم قرار گرفتند و اندازه‌گیریها با تغییر جریان الکتریکی از صفر تا ۱ آمپر انجام گردید. در طی آزمایش و در اولین مرحله مقادیر $(\frac{V_k}{V_b})_{\max}$ و $(\frac{V_f}{V_b})_{\max}$ در حالت همراستایی محورهای تراگسیل قطبشگرها به‌دست آمدند. پس از آن اختلاف زاویهٔ دوقطبشگر آنالیزور با قطبشگر اولی به حدود ۴۵ درجه رسانده شد، آنگاه با استفاده از قانون مالوس مقدار زاویه برای هر گام محاسبه گردید و سرانجام نمودار زاویه بر حسب تغییرات شدت میدان مغناطیسی برای هر حالت رسم گردید.

شکل۳ مقدار چرخش را برای لایهٔ اکسید کبالت ($Co_۳O_۴$) در مد عبوری نشان می‌دهد. این نمودار نشان دهندهٔ مقدار چرخش حدود ۲ درجه و وجود پسماند در لایه است. علاوه بر این رفتار لایه در میدان مغناطیسی منظم است. شکل ۴ مقدار چرخش را برای لایهٔ ترکیبی $Mn_{۰/۲۵}Co_{۲/۷۵}O_۴$ در مد عبوری نشان می‌دهد. این نمودار میزان چرخش حدود ۲/۱۵ درجه را نشان می‌دهد. فرو مغناطیسی بودن لایه با توجه به حلقهٔ پسماند محرز است.

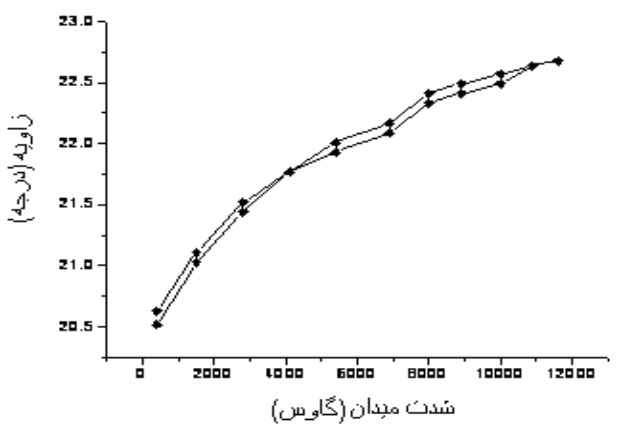
شکل۵ نمودار چرخش فارادی را برای لایهٔ ترکیبی منگنز و



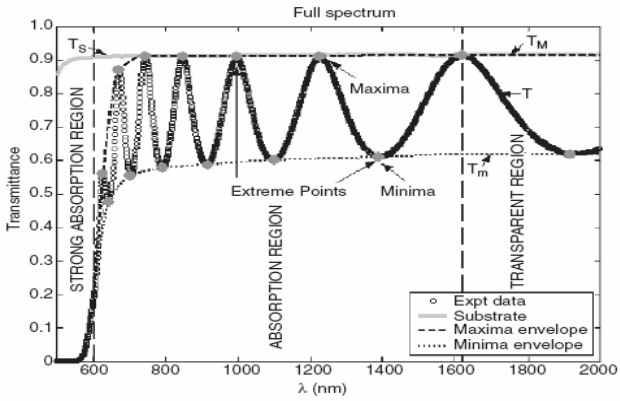
شکل۳. نمودار اثر فارادی برای اکسید کبالت.



شکل۴. نمودار اثر فارادی برای لایهٔ $Mn_{0/25}Co_{2/75}O_4$.



شکل ۵. نمودار اثر فارادی برای لایهٔ $Mn_{0/5}Co_{2/5}o_4$.



شکل۶ . طیف عبوری برای یک نمونهٔ خاص.

کبالت با تناسب عنصری و فرمول شیمیایی $Mn_{0/5}Co_{2/5}O_4$ نشان می‌دهد. میزان چرخش در حدود ۱/ ۲ درجه است.

۴. تعیین خواص اپتیکی

۴. ۱. محاسبهٔ ضریب شکست وضخامت لایه‌های نازک منگنز- کبالت

در بسیاری موارد، ثابتهای اپتیکی با عبور دادن نور از لایهٔ نازک جایگذاری شده بر بسترشیشه‌ای اندازه‌گیری می‌شود. اگر یک لایهٔ نازک با ضریب جذب α در نظر بگیریم، تداخلهای چندگانه‌ای در لبهٔ لایه ایجاد می‌شود. در این حالت بعضی فریزهای تدا خلی در طیف عبوری گرفته شده توسط اسپکترو متر، همان طور که در شکل ۶ نشان داده شده است قابل مشاهده می‌باشد. یک روش خیلی مفید وکاربردی که سبب استفاده از این فریزهای تداخلی برای تعیین خواص نوری مواد می‌شود، موسوم به روش سان پل می‌باشد[۴] .

سان پل نشان داد که ضریب شکست لایهٔ نازک با توجه به دو محدوده ترسیم *شده*(λ) T_M و $T_m(\lambda)$ واز روی مقدار ضریب شکست بستر با رابطهٔ زیر تعیین می‌شود:

$$n = \left[M + \left(n^2 - n_s^2 \right) \right]^{1/2}, \qquad (۲)$$

که در آن:

$$M = 2n_s \left[\left(T_M - T_m \right) / T_M T_m \right] + \left(n_s^2 + 1 \right) \Big/ 2 .$$

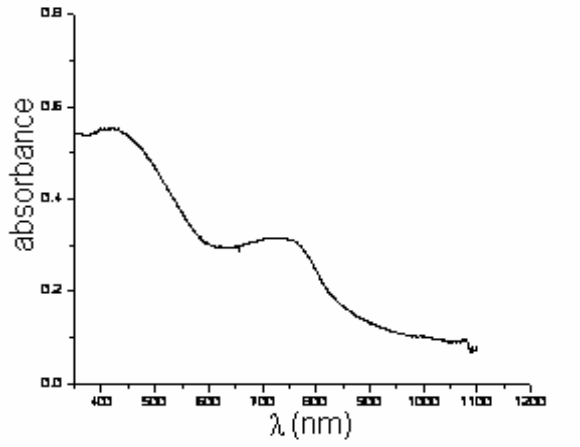
با محاسبهٔ ضریب شکست لایه، مطابق با دو ماکزیمم مجاور(دو مینیمم مجاور) در نقاط داده شده به صورت n_1 در λ_1و n_2 در λ_2 ضخامت از معادلهٔ پایهٔ امواج تداخلی تعیین می‌شود:

$$d = \lambda_1 \lambda_2 / \left[2 \left(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1 \right) \right] . \qquad (۳)$$

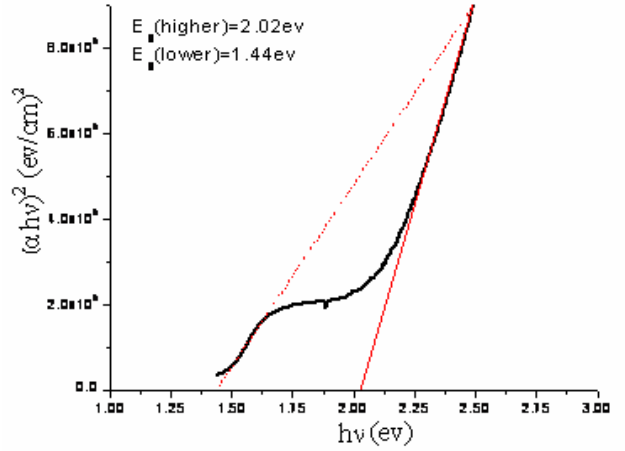
برای حالتی که یک ماکزیمم و مینیمم مجاور در نظربگیریم، ضخامت از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

جدول۴. مقادیر ضریب شکست و ضخامت برای لایه‌های (Co_3O_4) و $Mn_{0/25}Co_{2/75}O_4$ و $Mn_{0/5}Co_{2/5}O_4$.

نمونه	ضریب شکست (n)	ضخامت متوسط (nm)
اکسید کبالت (Co_3O_4)	۲/۱۴±۰/۰۵	۲۰۰±۳۰
$Mn_{0/25}Co_{2/75}O_4$	۲/۲۲±۰/۰۵	۲۴۰±۳۰
$Mn_{0/5}Co_{2/5}O_4$	۲/۳۳±۰/۰۵	۲۸۰±۳۰



شکل۷ . نمودارطیف جذبی اکسید کبالت.



شکل ۸ . نمودار $(\alpha\ h\nu)^2$ بر حسب hν برای اکسید کبالت.

$$d = \lambda_1\lambda_2 / \left[2\left(\lambda_1 n_2 - \lambda_2 n_1\right)\right]. \qquad (۴)$$

برای سهولت در استفاده از روش سان پل، نرم افزاری بـه زبـان ویژوال بیسیک طراحی نمودیم که درآن با وارد کردن اطلاعـات اولیه از روی طیـف عبـوری کـه توسـط اسـپکتروفوتومتر تهیـه می‌شود، مقادیر ضریب شکست در هر طـول مـوج و همچنـین ضخامت لایهٔ نازک محاسبه می‌شـود کـه بـرای چنـد نمونـه در جدول ۴ ارائه شده است.

۵. تعیین گاف انرژی

به منظور تشخیص ماهیت گذار نور در لایه‌ها، داده‌های اپتیکـی با استفاده از رابطهٔ کلاسیکی زیر تحلیل شدند :

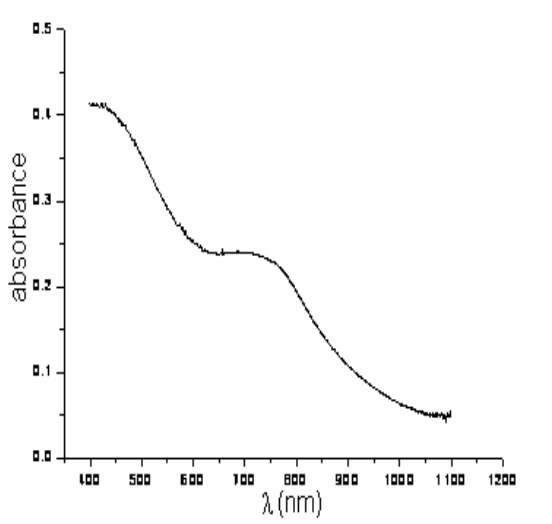
$$\alpha = \alpha_\circ \left(h\nu - Eg\right)^n / h\nu \ , \qquad (۵)$$

که در آن $\alpha_\circ$ عدد ثابت و n نیز ثـابتی بـا مقـادیر ۰/۵۰ و ۲ بـرای گذار مستقیم و غیر مستقیم مجاز می‌باشد.

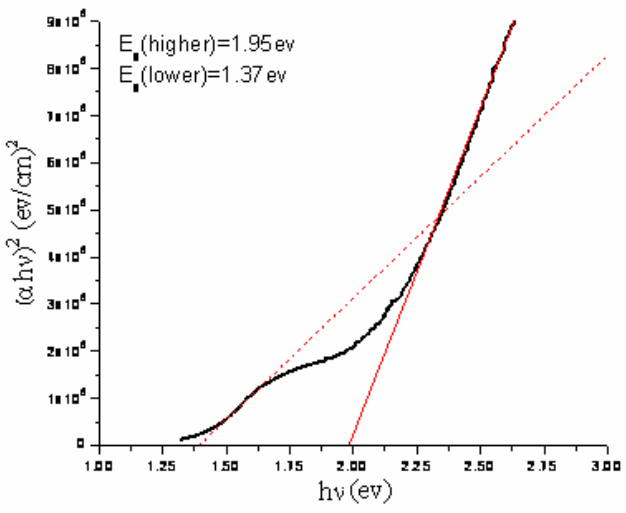
طیف جذبی لایهٔ اکسید کبالـت در گـسترهٔ طـول موجهـای ۳۵۰–۱۰۰۰ نانومتر در شـکل ۷ نـشان داده شـده اسـت. دیـده می‌شود که میزان جذب تا طـول مـوج ۶۲۰nm کـاهش یافتـه و سپس تا ۷۴۲nm افزایش ودوباره از ۷۶۵nm کاهش می‌یابد کـه دو ناحیهٔ انتقال اپتیکی را نمایش می‌دهد.

شکل ۸ نمودار $(\alpha\ h\nu)^2$ بر حسب hν رابرای این لایه نشان می‌دهد. این نتیجه اشاره بر این دارد که لایه‌های اکسید کبالت دارای دو مقدار E_g مجاز مستقیم دارد. داده‌های اپتیکی دلایـل واضحی را برای وجود دو مقدار گاف انرژی در اکسید کبالـت نشان داده است[۵ و ۶]. طیف جذبی لایـهٔ $Mn_{0/25}Co_{2/75}O_4$ در گسترهٔ طول موجهای ۳۵۰–۱۰۰۰ نـانومتر در شـکل ۹ نـشان داده شده است. با توجه به نمودار نمودار $(\alpha\ h\nu)^2$ برحـسب hν برای ایـن لایـه در شـکل ۱۰، هماننـد لایـهٔ اکـسید کبالـت دو مقدارگاف انرژی به دست می‌آید. برون یابیها منجر به مقـادیر ۱/۹۵eV و۱/۳۷eV برای E_g می‌شود.

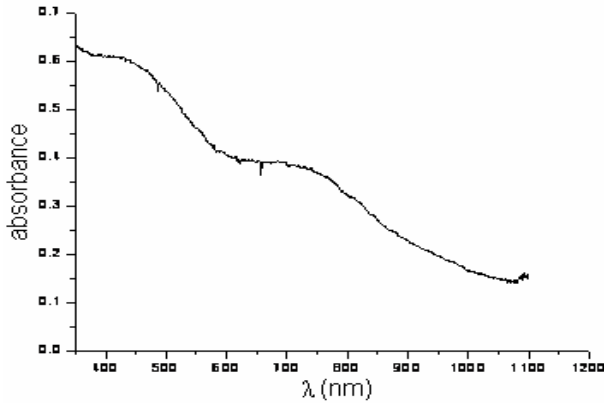
لایـهٔ ترکیبـی $Mn_{0/5}Co_{2/5}O_4$ دارای طیـف جـذبی مطـابق شکل ۱۱ می‌باشد. شکل ۱۲ نمـودار $(\alpha h\nu)^2$ بـر حـسب hν را برای این لایه نشان می‌دهد.



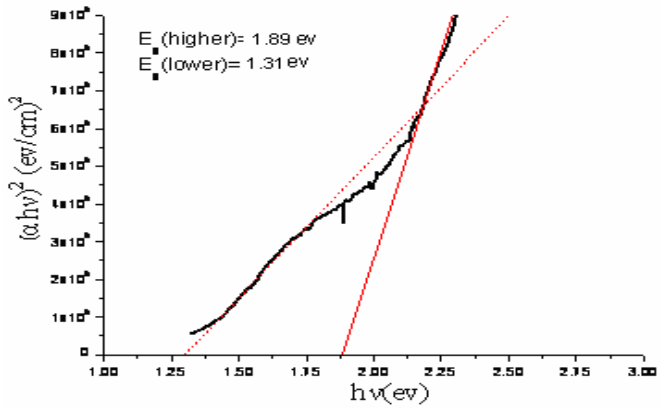
شکل ۹ . نمودارجذب اپتیکی لایهٔ $Mn_{0/25}Co_{2/75}O_4$.



شکل ۱۰. نمودار $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب hν لایهٔ $Mn_{0/25}Co_{2/75}O_4$.



شکل ۱۱. نمودارجذب اپتیکی لایهٔ $Mn_{0/5}Co_{2/5}O_4$.



شکل۱۲ . نمودار $(\alpha h\nu)^2$ بر حسب hν لایهٔ $Mn_{0/5}Co_{2/5}O_4$.

۵. نتیجه گیری

با توجه به کاربردهای روز افزون وگسترش فناوری اطلاعات، لایه‌های Mn-Co در تحقیقات از اهمیت خاصی برخوردارند. مطالعات نشان داد که لایه‌های ترکیبی با فرمول شیمیایی و تناسب عنصری $(0 \le x \le 1)$ $Mn_xCo_{3-x}O_4$ که به روش اسپری پایرولیزیز و در شرایط لازم جایگذاری برروی بستر شیشه‌ای تهیه شدند، با توجه به اندازه‌گیریهای مغناطیسی- نوری اثر کر و اثر فارادی، میزان چرخش نورقطبیده خطی را نسبت به لایهٔ خالص اکسید کبالت افزایش می‌دهند و فرو مغناطیسی بودن این لایه‌ها در مقادیر کم منگنز نسبت به کبالت (کمتر از ۲۰٪) با توجه به حلقه پسماند محرز می‌باشد. از طرفی نتایج به دست آمده از خواص اپتیکی نشان داد که لایهٔ اکسید کبالت دارای دو مقدار مجازگاف انرژی بوده که در توافق با مطالعات قبلی در این زمینه بوده و از طرفی بررسیها نشان داد که در لایه‌های ترکیبی منگنز وکبالت با افزایش نسبت منگنز به کبالت تا میزان ۲۰٪، مقادیرگاف انرژی تا حدود ۰/۱۳eVکاهش یافتند.

مراجع

1. M U Gonzalez, G Armelles, C Martenez Boubeta, A Cebollada, *Applied Physics Letters*, 20 January (2003).
2. Pramod S Patial, *Materials Chemistry and Physics* **59** (1999) 185–198.
3. D W Moon, Y H Ha, Y Park, *Nano-Surface Group, Korea Research Institute of Standards and Science*, Taejon, Korea, 23 July (2001) 305-600.
4. R Swanepoel, *J. Phys. E: Sci. Instrum.* **16** (1983) 1214.
5. L D Kadam, P S Patial, *Materials Chemistry and Physics* **68** (2001) 225-232.
6. V R Shinde, S B Mahadik, T P Gugar, and C D Lokhande. *Applied Surface Science* **252** (2006) 7487-7492.