دانشگاه پیام نور

گروه فیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته فیزیک حالت جامد

عنوان پایان نامه

بررسی خواص نوری- مغناطیسی لایه های نازک اکسیدهای دوتایی منگنز- کبالت

استاد راهنما

دکتر ابراهیم عطاران کاخکی

استاد مشاور

دکتر جمیل آریایی

۱۳۸۷ /۲/ ۲۵

نگارش

مهدی عادلی فرد

شهریور ۱۳۸۶

۱۵۱۳۳۹

جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم و تحقیقات و فناوری

تاریخ: ۸۶/۷/۴
شماره: ۳۸۸/۱۹/۸۱۴
پیوست:

دانشگاه پیام نور

بسمه تعالی

تصویب نامه پایان نامه

پایان نامه تحت عنوان: بررسی خواص نوری عناصر فلزی لایه‌های نازک هندگزن و کبالت

که توسط مهری عالی فرد تهیه و به هیئت داوران ارائه گردیده است مورد تائید می باشد.

تاریخ دفاع: ۸۶/۶/۲۵ نمره ۱۹/۵ نوزده و پنج درجه ارزشیابی: عالی

اعضای هیئت داوران:

نام و نام خانوادگی	هیئت داوران	مرتبه علمی	امضاء
ابراهیم عطاران	استاد راهنما	استادیار	
	استاد راهنمای همکار		
جلیل آریائی	استاد مشاور	استادیار	
ناصر شاهسی	استاد ممتحن	استادیار	
سعید محمدی	نماینده گروه امور آموزشی	استادیار	

ث:
۱- استانات
۲- تصدیقات تکمیلی
۳- پرونده دانشجو
۴- دانشجو

با عنایت پروردگار، مدت‌ها تلاش و بهره‌گیری ازمحضراستادان گرانقدرکه همواره راهنمای من در عرصه علم وادب بودند این کار به پایان رسید و امروز بر خویش فرض می‌دانم که سپاسگذارزحمات بزرگوارانی باشم که بی‌هیچ تردیدی روشن کننده این راه بودند.

در ابتدا خودرا مرهون محبت وراهنمائی بی دریغ جناب آقای دکتر عطاران می‌دانم که دراین مدت همواره مشوق بنده بودندوبا فرصت هایی که در اختیار من قرار دادند، مراتب پیشبردکاررا مهیا نمودند، جا دارد مراتب قدرشناسی و سپاس خود را به محضر این استاد عزیز نثار نمایم.

همچنین از استادان ارجمند جناب آقای دکتر آریایی، مشاور این پایان نامه وجناب آقای دکتر شاه طهماسبی، استاد محترم گروه فیزیک دانشگاه فردوسی مشهدکه برمن منت نهادند و با شرکت در جلسه دفاعیه ایرادات کار را در نهایت دقت و ظرافت بررسی و گوشزد نمودند و مرا در رفع این اشکالات یاری فرمودند، بی‌نهایت سپاسگزارم.

در خاتمه ازجناب آقای محققی که در طول این دوره، همواره لطف ایشان شامل حال من بود، بسیار متشکرم.

بار دیگردرود وسپاس خودرا به محضر همه استادان محترم تقدیم نموده واز خداوند منان برای همه این عزیزان آرزوی سلامتی و توفیق خدمت آرزومندم.

با سپاس فراوان

مهدی عادلی فرد-شهریور ۱۳۸۶

فهرست مطالب

عناوین	صفحه
۱ مقدمه ای بر آثار نوری- مغناطیسی مواد	۱
۱-۱ پیشگفتار	۲
۱-۲ آثار نوری- مغناطیسی مواد	٤
۱-۲-۱ اثر فارادی	٤
۱-۲-۲ اثر کر	٦
۱-۲-۳ اثرهای کرو فارادی در مواد غیر فرو مغناطیس	۷
۱-۳ کاربردهای اثر نوری- مغناطیسی	۷
۱-۳-۱ مجزا کننده اپتیکی	۷
۱-۳-۲ ذخیره سازی نوری- مغناطیسی	۸
۱-۳-۳ آشکارسازی مغناطش در اشیاء بسیار کوچک و رسم حلقه پسماند	۸
۱-٤ حالات مختلف قطبش وتابش	۹
۱-٤ - ۱ حالت قطبی	۹
۱-٤ -۲ حالت طولی	۱۰
۱-٤ - ۳ حالت عرضی	۱۰
۱-۵ تاریخچه تحقیقات	۱۱
۱-٦ منابع	۱۲
۲ مبانی نظری رفتار نوری_ مغناطیسی	۱۳
۲-۱ پیشگفتار	۱٤
۲- ۲ نظریه کلاسیک رفتار نوری- مغناطیسی	۱٦
۲-۳ نظریه کوانتومی رفتار نوری- مغناطیسی	۱۸
۲-٤ منابع	۲۸
۳ اثرات فیزیکی مربوط به ذخیره سازی نوری مغناطیسی اطلاعات	۲۹
۳-۱ نور قطبیده	۳۰
۳-۱-۱ اثر کر قطبی	۳۲
۳-۱-۲ مغناطش دایروی دو شکستی	۳٤
۳-۲ دسته بندی مواد مغناطیسی	۳٦

۳-۲-۱ مواد فرو مغناطیس ۳۸
۳-۲-۱-۱ مغناطش خودبه خودی و مغناطش در میدان ۳۹
۳-۲-۱-۲ حساسیت مغناطش به دما ٤٤
۳-۲-۱-۳ مغناطش اشباع ٤٥
۳-۲-۱-٤ منحنی پسماند ٤٥
۳-۲-۲ مواد آنتی فرو مغناطیس ٤٦
۳-۳ ناهمسانگردی مغناطیسی ٤٧
۳-۳-۱ ناهمسانگردی بلوری ٤٨
۳-۳-۲ ناهمسانگردی تنشی ٤٩
۳-٤ قانون مالوس ٥٠
۳-٥ منابع ٥١
٤ لایه های نازک ٥٢
٤-۱ پیشگفتار ٥٣
٤-۲ روش های مختلف تهیه لایه های نازک مغناطیسی ٥٤
٤-۳ اکسیدهای نوع اسپینل فلزی ٥٥
٤-۳-۱ اکسید کبالت ٥٥
٤-۳-۲ لایه های نازک ($Mn_xCo_{3-x}O_4$ $(0\leq x\leq 1)$ ٥٧
٤-٤ روش اسپری پایرولیزیز ٥٩
٤-٥ مکانیسم تشکیل لایه نازک به روش اسپری پایرولیزیز ٥٩
٤-٦ تهیه وساخت لایه های نازک منگنز وکبالت ٦٠
٤-٦-۱ لایه نازک خالص اکسید کبالت ٦٢
٤-٦-۲ لایه نازک خالص اکسید منگنز ٦٣
٤-٦-۳ دو لایه ای اکسید کبالت/اکسید منگنز ٦٤
٤-٦-٤ دو لایه ای اکسید منگنز /اکسید کبالت ٦٥
٤-٦-٥ لایه های ترکیبی منگنز وکبالت ٦٦
٤-۷ منابع ٦٨
٥ روش های اندازه گیری ۷۰
٥-۱ سامانه اندازه گیری اثرکروفارادی ۷۱
٥-۱-۱ معرفی وکاربرد هر یک از اجزاء سامانه ۷۲

۵-۱-۱-۱ لیزر هلیم- نئون ۷۲

۵-۱-۱-۲ فتوسل مبنا ۷۲

۵-۱-۱-۳ تیغه شیشه ای ۷٤

۵-۱-۱-٤ قطبشگرها ۷٤

۵-۱-۱-۵ تقویت کننده ۷٤

۵-۱-۱-٦ کارت I/O ۷۵

۵-۱-۱-۷ مقاومت های سری شده با آهن ربای الکتریکی ۷٦

۵-۱-۲ شرح آزمایش ۷۷

۵-۲ اندازه گیری های اپتیکی برای تعیین ضریب شکست و ضخامت لایه های نازک یکنواخت با روش سان پل ۷۹

۵-۳ اندازه گیری گاف انرژی لایه های نازک منگنزوکبالت ۸۲

۵-٤ منابع ۸٤

٦ بحث ونتیجه گیری ۸۵

٦-۱ مطالعه اثر فارادی در لایه های منگنزوکبالت ۸٦

٦-۱-۱ اندازه گیری ورسم نمودارها ۸٦

٦-۲ مطالعه اثرکر در لایه های نازک منگنزوکبالت ۸۹

٦-۲-۱ اندازه گیری ورسم نمودارها ۸۹

٦-۳ مطالعه خواص اپتیکی ۹۲

٦-۳-۱ اندازه گیری ضریب شکست وضخامت لایه ها ۹۲

٦-۳-۲ تعیین گاف انرژی ۹۳

٦-۳-۲ - الف لایه اکسید کبالت ۹۳

٦-۳-۲- ب لایه $Mn_{۰٫۲۵}Co_{۲٫۷۵}O_٤$ ۹٤

٦-۳-۲ - ج لایه $Mn_{۰٫۵}Co_{۲٫۵}O_٤$ ۹٦

٦-۳-۲ - د دولایه ای $Co_۳O_٤/MnO$ ۹۷

٦-۳-۲- ه دولایه ای $MnO/Co_۳O_٤$ ۹۸

٦-٤ جمع بندی از نتایج به دست آمده ۹۹

٦-۵ منابع ۱۰۰

پیوست الف

پیوست ب

فصل اول

مقدمه ای بر آثار نوری مغناطیسی مواد

۱-۱ پیشگفتار

۱-۲ آثار نوری- مغناطیسی مواد

۱-۳ کاربردهای اثر نوری - مغناطیسی

۱-٤ حالات مختلف قطبش و تابش

۱-٥ تاریخچه‌ی تحقیقات

۱-٦ منابع

۱-۱ پیشگفتار

پیشرفت و توسعه وسایل ذخیره سازی داده ها با ظرفیت ثبت زیاد ،به صورت یک موضوع کلیدی در فن آوری محسوب می شود.

علاوه براین ذخیره‌ی حجم عظیم اطلاعات و بازخوانی مجدد آنها امری است که مشکلات زیادی را ایجاد کرده‌است .کشف لیزر و ساخت رشته های باریک شیشه‌ای(فیبرنوری)، دریچه‌ای جدید را برای انتقال سریع داده‌ها گشوده است.

نشاندن اطلاعات دیجیتالی به‌صورت صفر ویک توسط باریکه‌ای از لیزر، اساس انتقال اطلاعات بوسیله‌ی لیزراست 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 می‌توان‌یک راستای مشخص قطبیدگی را به عنوان صفر و راستای دیگر را به عنوان‌یک در نظر گرفت تا در آنسوی فیبر نوری بوسیله‌ی یک صفحه‌ی قطبشگر این صفر ویک ها از هم جداشوند.

آنچه قبلا مرسوم بوده ، ثبت اطلاعات بر روی صفحات مغناطیسی از قبیل نوارها و دیسک ها به صورت ضبط طولی[۱] بوده است. در این روش بسیاری از مشکلات ذاتی از قبیل ناپایداری دمای تولید شده به وسیله هد مغناطیسی، چگالی ثبت را محدود می کند[۱].

یک روش برای افزایش چگالی ثبت ، ضبط عمودی[۲] داده ها نسبت به ضبط طولی بر روی وسیله مورد نظر می باشد.

خصوصیت فیز یکی مر بوطه موسوم به اثر ناهمسانگردی مغناطیسی عمودی[۳](PMA) می باشد.

طرحی از اصول مربوط به ثبت مغناطیسی-نوری عمودی[۴] در شکل ۱ آمده است.

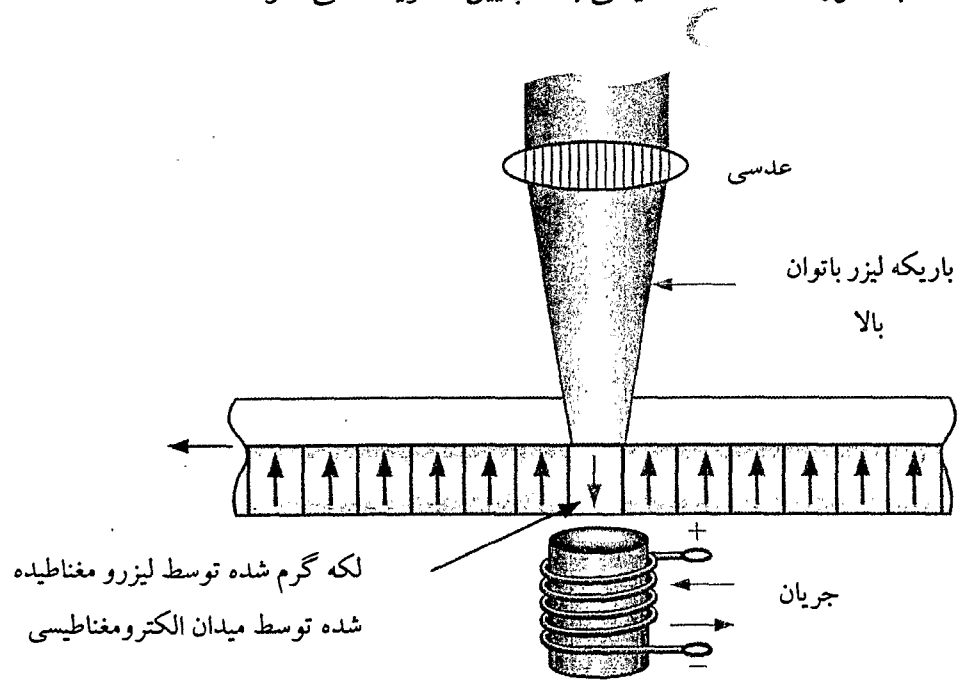
۱- Longitudinal case

۲-Polar case

برخلاف سیستم های ضبط مغناطیسی تجاری که برای خواندن داده، باایجادشارمغناطیسی متغیرروی سطح دیسک در هدهای مغناطیسی جریان هایی القا می کند، سیستم هایَ نوری مغناطیسی(MO) ازنورقطبیده برای خواندن داده از روی دیسک استفاده می کنند. درحضوریک میدان مغناطیسی روی سطح دیسک قطبش نور تغییرمی کند. اگرباریکه ای ازنورقطبیده روی سطح مغناطیسی بتابد، هنگام بازتاب، نوعاً کمتراز°۰/۵، تغییردرقطبش نوربازتابیده خواهیم داشت. اگر مغناطش معکوس شود، تغییردرقطبش(زاویه کر)نیزمعکوس می شود. این چرخش در گرادیان قطبش، به حالت ۰و۱مغناطش محیط بستگی دارد.

در فرایند نوشتاری[۵] از پرتو لیزر برای گرم کردن حوزه ثبت داده ها تا نزدیک دمای کوری استفاده می شود و برای انتخاب جهت تکانه مغناطیسی در حوزه ثبت، از یک میدان مغناطیسی همان طور که در شکل ۱ (الف) آمده است استفاده می شود.

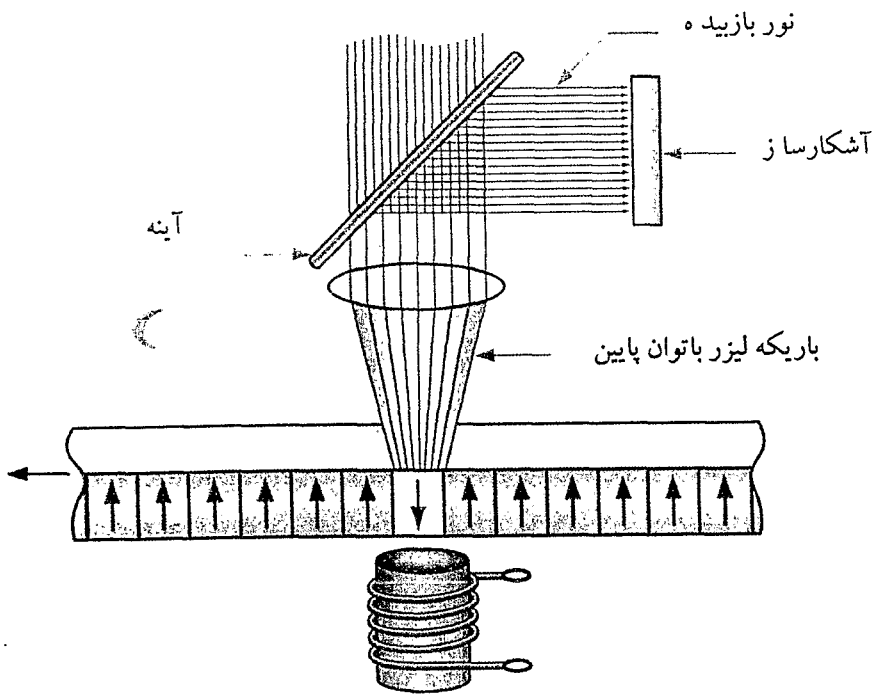
یک حوزه ثبت (بیت)"۱" یا("۰") به صورت تکانه مغناطیسی بالا (پایین) تعریف می شود.



شکل ۱ (الف): طرحی فیزیکی از ثبت داده ها در حوزه مورد نظر

۳-Perpendicular magnetic anisotropy
٤- Perpendicular magneto-optical recording
٥-Writing

فرایند باز خوانی[٦] داده ها ، با استفاده از اثر نوری ـ مغناطیسی کر (PMOKE) صورت می گیرد. یک باریکه لیزر باتوان پایین ازذرات مغناطیسی باقطبیت معکوس شده بازتابیده می شودوقطبش این باریکه تغییرمی کند. اگرجهت گیری ذرات معکوس نشود، قطبش باریکه بازتابیده بدون تغییر می ماند.(شکل ۱ب)



شکل ۱(ب): نمایی ازفرایند باز خوانی داده ها با استفاده از اثر مغناطیسی نوری کر

۱-۲ آثار نوری ـ مغناطیسی مواد

۱-۲-۱ اثر فارادی[٧]

در سال ۱۸٤٥ مایکل فارادی کشف کرد که هر گاه نور قطبیده از یک قطعه شیشه که در یک میدان مغناطیسی موازی با آن جایگزیده شده عبور نماید،صفحه ارتعاش آن می چرخد. پس از کشف فارادی

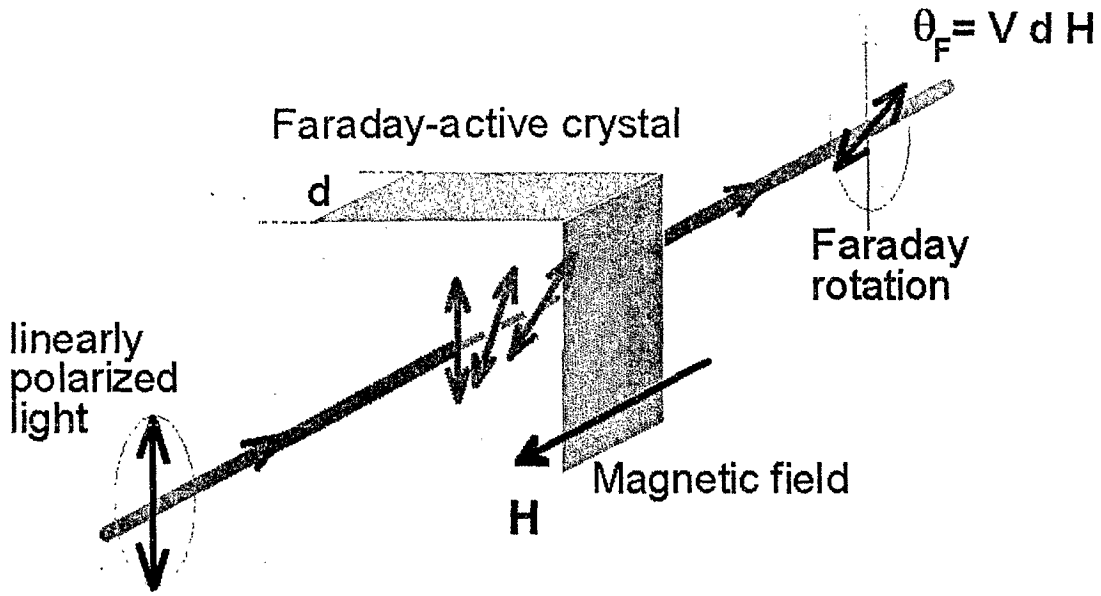
٦-Reading
٧-Faraday Effect

این پدیده در بسیاری از جامدات ، مایعات وگازها مشاهده شده است. انجام آزمایشات نشان می دهد که میزان چرخش سطح قطبش نور متناسب است با شدت میدان مغناطیسی H و طول محیطی که نور طی می کند. این پدیده در شکل ۲ نشان داده شده است.

این چرخش با رابطه زیر نشان داده می شود:

$$\theta = VdH \qquad (۱)$$

که در آن H شدت میدان با واحد تسلا، d ضخامت با واحد متر، θ زاویه چرخش بر حسب دقیقه وVثابت وردت که برای هر ماده متفاوت می باشد[۲].



شکل۲: اثر فارادی در هنگام عبور نور از ماده‌ی مغناطیده شده

برای اجسام فرومغناطیس اندازه ی زاویه چرخش فارادی از رابطه زیر بدست می آید:

$$\theta = KMt \qquad (۲)$$

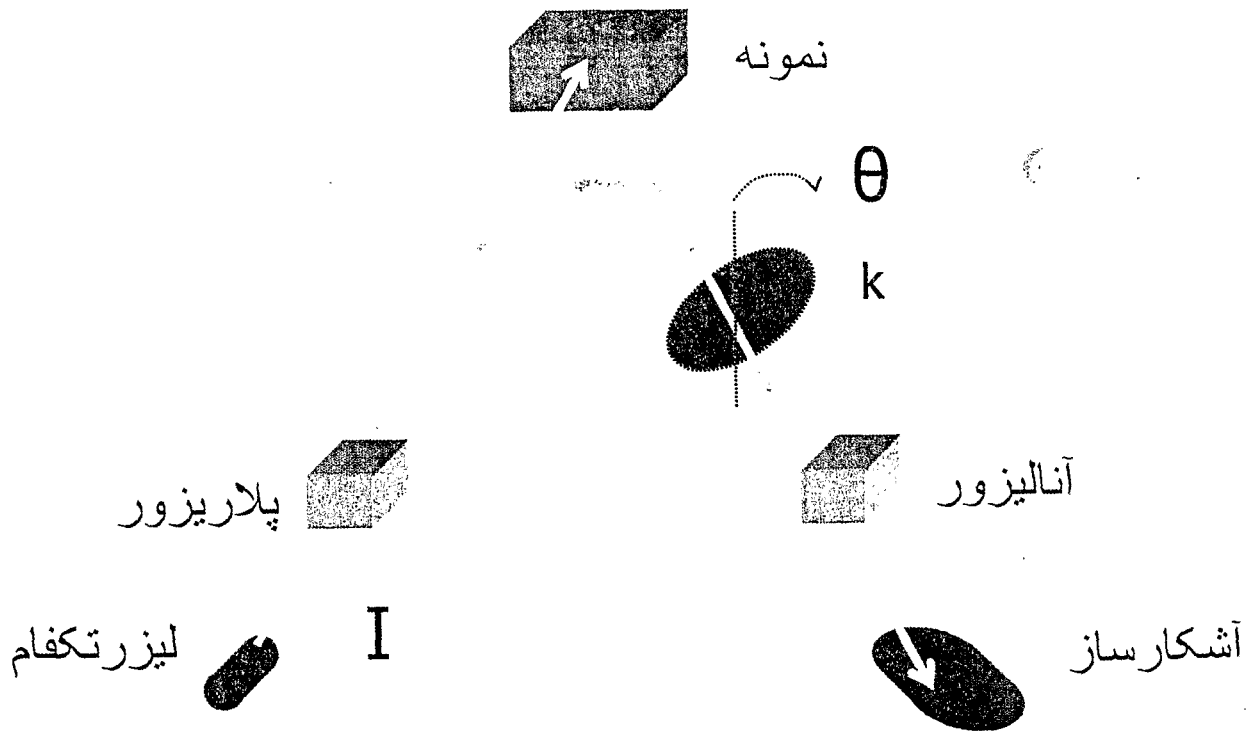
که در آن :

K ثابت کانت[۸] درحدود (۳۵۰degree/(gauss.cm ، t طول محیط نوری و M مغناطش نمونه می باشد.

۸- Kundt constant

۱-۲-۲ اثر کر[۹]

اثر کر پدیده ای ست که درآن ، راستای قطبش نور قطبیده خطی منعکس شده از سطح مغناطیسی در حضورمیدان مغناطیسی قوی تغییر می کندکه نتیجه آن تبدیل نور قطبیده خطی به قطبیده بیضی است. نور قطبیده حاصل را می توان به دو مد قطبیده دایره ای راستگرد (RCP) و چپگرد(LCP)تجزیه نمود. هر دو اثر کر وفارادی از تفاوت در دو ضریب شکست محیط برای دو مد(LCP)و(RCP) بر می خیزد. به عبارتی چون محیط دارای ضرایب شکست متفاوتی برای دو مد است، این امر سبب می شود که نور قطبیده خطی تبدیل به نور قطبیده بیضوی وار شود.



شکل۳: تابش نور قطبیده‌ی خطی به سطح صیقلی، چرخش راستا و نوع قطبش پس از باز تابش

۹-Kerr Effect

درسطح ماکروسکپی، از طریق بررسی تانسور دی الکتریک تعمیم یافته، برای یک فرود عمودی می توان نشان داد که زاویه محور اصلی به اندازه زیر می چرخد:

$$\theta_k \equiv \mathrm{Re}\left\{\frac{n_+ - n_-}{1 - n_+ n_-}\right\} \quad \varepsilon \equiv n^2 \begin{bmatrix} \varepsilon_{XX} & \varepsilon_{XY} & 0 \\ -\varepsilon_{XY} & \varepsilon_{XX} & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_{ZZ} \end{bmatrix} \qquad (۳)$$

۱-۲-۳ اثر های کر و فارادی درمواد غیر فرومغناطیس

در مواد غیر فرومغناطیس نیز این اثر ها با مغناطش خالص نمونه متناسب اند و نه با میدان مغناطیسی خارجی. اختلاف بین فرو مغناطیس ها و غیر فرو مغناطیس ها درمرتبه بزرگی اثرها ست. درنمونه کوارتز چرخش فارادی حدود ۲° درهر سانتی متر در حضورمیدان $B=۱۰^{۴}Gs$ می باشد. این درحالی است که در نمونه آهن حدود ۳۸۰۰۰۰° درهر سانتی متر، تحت شرایط یکسان می باشد[۳] .

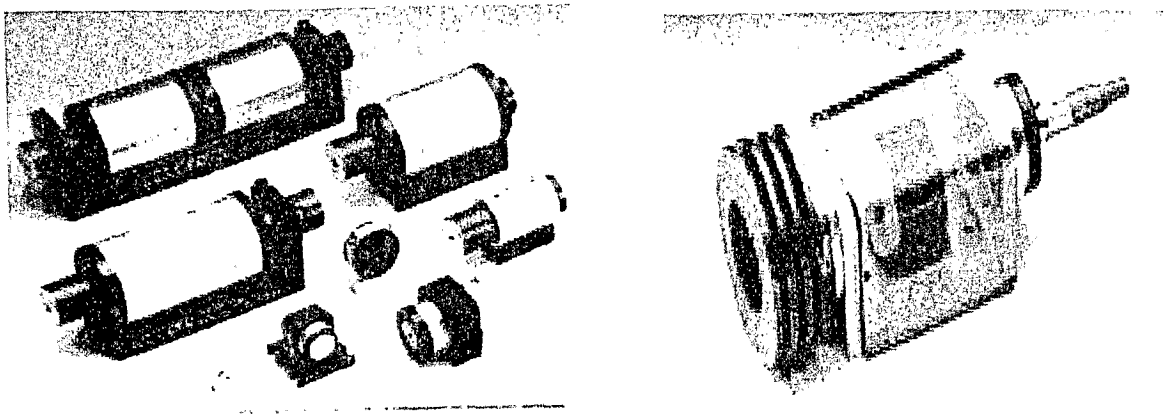
۱-۳ کاربردهای اثر مغناطیسی-نوری

۱-۳-۱ مجزاکننده اپتیکی[۱۰]

این ابزارهانشانگرکاربردی از اثرفارادی می باشند.یک مجزا کننده اپتیکی به نور اجازه عبوردریک جهت می دهد، امااجازه نمی دهد که در جهت مخالف حرکت کند. موادMO به طور گسترده ای در مجزاکننده ها به کار می روند. درتوان های بالا، فیدبک اپتیکی می تواندعملکرد یک سیستم لیزری را برهم بزندوبه آن آسیب رساند. برای کاستن این فیدبک، یک مجزاکننده اپتیکی رامی توان به کاربرد(برپایه اثرفارادی).

نمونه هایی از مجزا کننده های اپتیکی در شکل ٤ نشان داده شده است.

۱۰- optical isolator



شکل٤:مجزا کننده های اپتیکی

۱-۳-۲ ذخیره سازی نوری-مغناطیسی[۱۱]

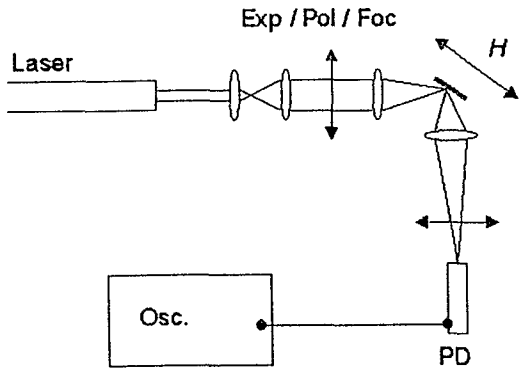
همه موادمغناطیسی یک دمای مشخصه به نام دمای کوری دارند که بالای این دمابه علت بی نظمی کامل حوزه های مغناطیسی، مغناطش شان را ازدست می دهند. بنابراین تمامی داده هایی که قبلاًدرآنهاذخیره شده ازدست می دهند. وادارندگی مغناطیسی ماده، میزانی ازمقاومت ماده دربرابرمغناطیده شدن توسط میدان مغناطیسی اعمالی می باشد. مهم است که بدانیم وادارندگی مغناطیسی ضمن نزدیک شدن دما به نقطه کوری،کاهش می یابدوبا افزایش بیشتردما به صفرمی رسد. برای مواد مغناطیسی جدیدی که درسیستم هایMO به کارمی روند، این دمای کوری ازمرتبه$200^{\circ}C$می باشد. ازآنجایی که این سیستم ها قابلیت چندبارپاک شدن دارند، مهم است که بدانیم تغییردردمای ماده تنها روی مغناطش آن تأثیرمی گذارد بدون اینکه ماده تخریب شود.

۱-۳-۳ آشکار سازی مغناطش در اشیاء بسیار کوچک و رسم حلقه پسماند

اثرمغناطیسی- نوری کر، چرخش صفحه قطبش یک نورقطبیده خطی با بازتاب ازیک سطح مغناطیسی می باشد. این اثر، ابزاری قدرتمند برای مطالعه دینامیک مغناطش درنمونه های کوچک می باشد.

۱۱- Magneto-Optical Storage

دراین طرح باریکه ای از یک لیزرHe-Ne ، ابتدا واگراشده وسپس روی یک لکه کوچک سطح نمونه، همگرامی شود. باریکه بازتابیده شده با یک فتودیود سریع آشکارسازی می شود. سپس درون یک اسیلوسکوپ دیجیتالی سریع خوانده می شودودرنهایت منحنی پسماند رسم می شود.



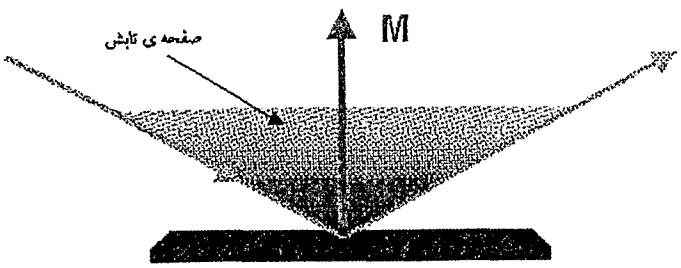
شکل۵: نمایی از یک سیستم پسماند رسم کن

۱-٤ حالات مختلف قطبش و تابش

هریک از دو پدیده را می‌توان در حالات مختلفی بررسی نمود که عبارتند از[٤] :

۱-٤-۱ حالت قطبی[۱۲]: در این حالت میدان مغناطیسی خارجی، عمود بر لایه‌است.

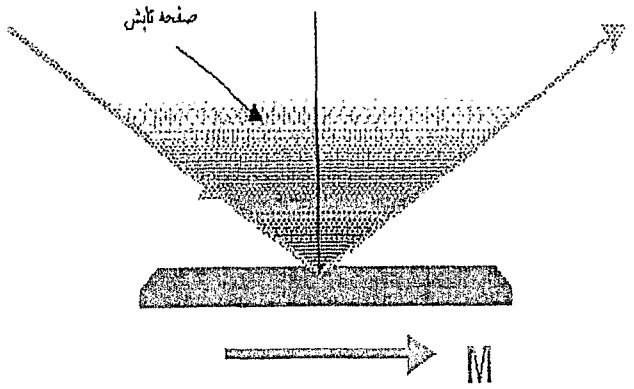
این حالت به‌شرط آن‌که نور نیز عمود بر لایه بتابد دارای بیشترین چرخش است(شکل٦). بر روی این حالت بیشترین کار تحقیقاتی انجام گرفته‌است و کاربرد عملی نیزیافته‌است.



شکل٦: حالت قطبی

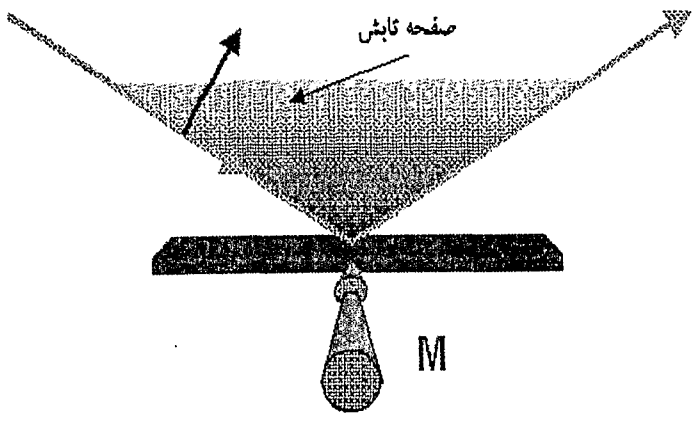
۱۲-Polar case

۱-٤-۲ حالت طولی[۱۳] : در این حالت نور بصورت مایل به سطح لایه می‌تابد، میدان مغناطیسی خارجی در امتدادصفحه‌ی تابش و بازتابش است(شکل۷). درتابش‌عمودی چرخش مشاهده نمی‌شود.



شکل ۷: حالت طولی

۱-٤-۳ حالت عرضی[۱٤]: در این حالت نیز نور بصورت مایل به سطح لایه می‌تابد، میدان مغناطیسی خارجی عمود بر صفحه‌ی تابش و بازتابش است (شکل۸). در این حالت نیزچرخش برای تابش عمودی وجود ندارد.



شکل۸: حالت عرضی

۱۳- Longitudinal case
۱٤- Transverse case

۱-۵ تاریخچه تحقیقات

در بیش از یک قرن گذشته ،مواد بی شماری به خاطر دارا بودن پتانسیل تکنیکی و کاوش های علمی در خصوصیت شان ،به صورت تک لایه،چند لایه ای های نازک بلوری وبی شکل جهت اندازه گیری های مغناطیسی و فراهم نمودن محیطی با چرخش زِیاد تهیه شده اند.

یک دسته از این نمونه ها که توجه زیادی را به خود جلب نموده است،آلیاژهای بی شکل خاکهای نادرهمراه با فلزات واسطه معروف به RE-TM هستند، عناصر سنگین مانند گادلیم(Gd) و تربیوم (Tb) دارای گشتاور مغناطیسی زیاد و دمای کوری کم هستند، با همراهی این عناصر با فلزاتی مانند آهن وکبالت، امکان دستیابی به گشتاور مغناطیسی زیاد در دمای اتاق وجود دارد.

حالت بلوری این مواد به علت داشتن جهت های ناهمسانگردی زیاد در هنگام استفاده، اختلال زیادی خواهد داشت.

به‌بیان دیگر صفر ویک‌ها در هنگام خواندن از هم تفکیک نشده یا بایکدیگر اشتباه می‌شوند. اما حالت بی شکل این مواد به‌شرط رسیدن به مغناطش اشباع، چنین مشکلی ایجاد نمی‌کند. این ترکیبات در حال حاضربا داشتن چرخش چند درجه‌ای، به‌صورت تجاری برای ثبت وخواندن اطلاعات به‌روش نوری- مغناطیسی کاربرد دارند.

ترکیبات مهم دیگری که از اهمیت و توجه خاصی برخوردارند،ترکیبات بر پایه منگنز می باشد.

یکی از این ترکیبات Mn/Sb می باشد. در پروژه ای که در سال ۲۰۰۰ با همکاری دو دانشگاه چینی و ملّی سنگاپور اجرا شد Mn/Sb بر روی زیر لایه‌ی یاقوت که دارای ساختار مشابه با ساختار Mn/Sb است، رشد داده شد. اندازه گیری‌ها نشاندهنده‌ی چرخش ۰/۵ درجه در اثر کر بود[۵].

در تحقیقی که توسط رویندران، دِلین، جِیمز و جانسون در دانشگاه آپسالای سوئد انجام شده است، بر روی پایه‌ی Mn کار شده است . در این تحقیق اثر کِر برای Mn/As و Mn/Sb و Mn/Bi مورد بررسی قرارگرفته‌اند. در نمونه Mn/As کمترین چرخش دیده شده است. در Mn/Sb و Mn/Bi مقدار چرخش به ترتیب ۱/۱ و ۱/۶ درجه است[۶].

از دیگر ترکیبات مهم در این زمینه،ترکیبات منگنز و کبالت به صورت چند لایه ای وترکیب با تناسب عنصری و فرمول شیمیایی خاص می باشد که مربوط به کار می باشد .

۱-٦ منابع

[۱]- J.Ferre."New Magneto Optical Recording Media".Laboratoire de Physique des solides,UMR CNRS ۸۵۰۲,Bat ۵۱۰.Universite Paris-sud,۹۱٤۰۵,Orsay,France.

[۲]-JasonD.Darfus."The Faraday Effect" PhysicsDepartment, TheCollegeof Wooster,Wooster,Ohio ٤٤٦۹۱,may۱۹۹۷.

[۳]- Petros N. Argyres, " Theory of the Faraday and Kerr in Ferromagnetics" Department of Physics, University of California, Berkeley,۱۹۷۸ .

[٤]- Measurement of Magnetic Properties of Thin Films By Homan Bernard Yuen B. A. (University of California at Berkeley) ۲۰۰۰.

[۵]- H. Meng. H. S. Lim,C. K. Ong,Y. P. Feng,Z. Yang. "Magnetic and Magneto-Optical Property of MnSbFilms Grown on Sapphire Substrate", ۲۰۰۰.

[٦]- P.Ravindran, A. Delin, P. James, and B. Johansson, "Magnetic, optical, and magneto-optical properties of Mn*X*(As, Sb,or Bi)from full-potential calculations", *Uppsala University, Sweden*,۱۹۹۹.

فصل دوم

مبانی نظری
رفتار نوری- مغناطیسی

۲-۱ پیشگفتار

۲-۲ نظریه‌ی کلاسیک رفتار نوری- مغناطیسی

۲-۳ نظریه‌ی کوانتومی‌رفتار نوری- مغناطیسی

۲-٤ منابع

۲-۱ پیشگفتار

وقتی نور وارد محیط رسانا می‌شود، میدانهای الکتریکی ومغناطیسی نور بر الکترونها اثر می‌گذارند و الکترون نیز که خود تحت تأثیر پتانسیل هسته‌ها و شبکه قرار دارد می‌تواند بر نور تأثیر متقابل داشته باشد.

براساس قوانین ماکسول:

$$\text{rot}\,\vec{H} = \dot{\vec{D}} + \vec{j}$$

$$\text{rot}\,\vec{E} = -\dot{\vec{B}}$$

$$\text{div}\,\vec{B} = 0$$

$$\text{div}\,\vec{D} = \rho$$

که برای مواد رسانا، مقدار ρ، برابر صفر است. مقادیر B, M, H, D, E طبق روابط زیر به‌یکدیگر مربوطند،

$$\vec{D} = \epsilon_0\vec{E} + \vec{P}$$

$$\vec{B} = \mu_0(\vec{H} + \vec{M})$$

که P قطبیدگی الکتریکی و M مغناطیدگی و D جابجائی الکتریکی است. برای میدانهای کوچک، P, J به E و M به H به طور خطی وابسته اند، که‌این وابستگی به صورت زیر است.