دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم پایه

رساله دوره دکتری فیزیک (حالت جامد)

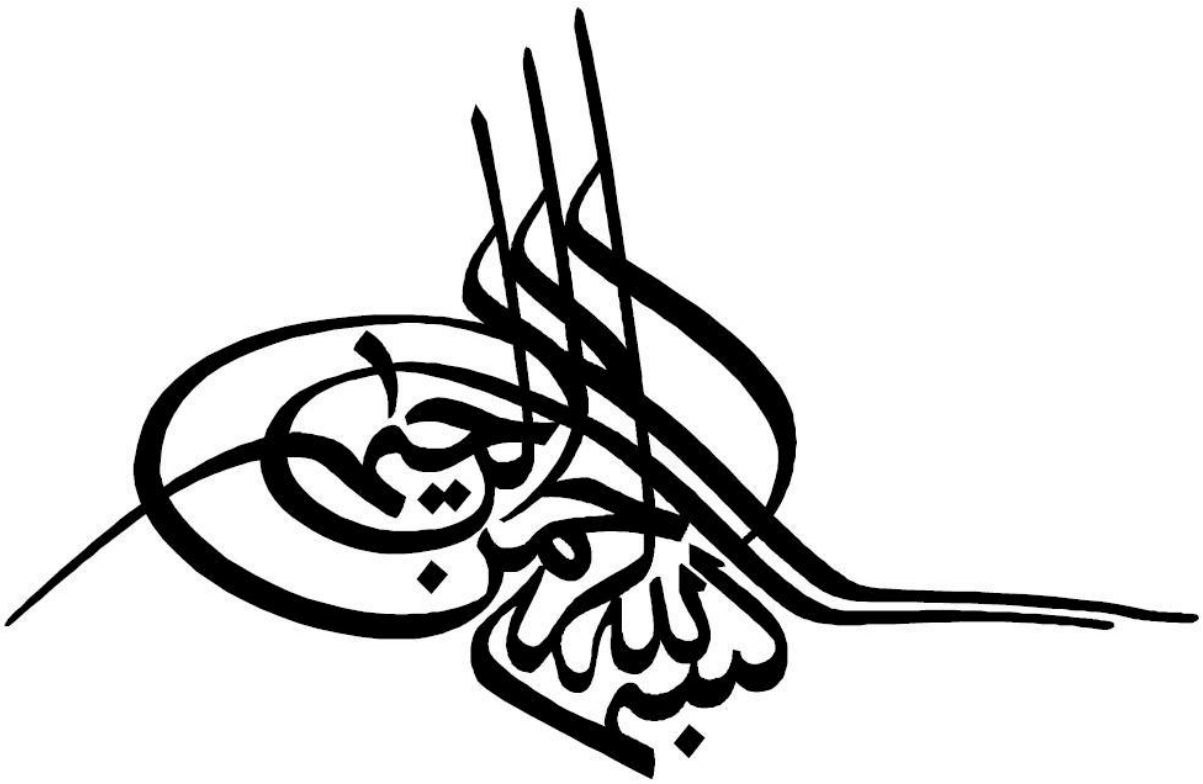
خواص ترابرد وابسته به اسپین در ساختارهای مغناطیسی

نگارنده
بهرام عابدی روان

استاد راهنمای اصلی
احمد یزدانی

استاد راهنمای دوم
علی اصغر شکری

شهریور ۱۳۸۹


بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده علوم پایه

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از رساله دکتری

آقای **بهرام عابدی روان** رساله واحدی خود را باعنوان: «**خواص ترابرد وابسته به اسپین در ساختارهای مغناطیسی**» در تاریخ **۸۹/۶/۳۱** ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این رساله را از نظر فرم و محتوا تایید کرده است و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه دکتری پیشنهاد می کند.

اعضای هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	آقای دکتر احمد یزدانی	دانشیار	
۲- استاد راهنمای دوم	آقای دکتر علی اصغر شکری	استادیار	
۳- استاد ناظر داخلی	آقای دکتر احمد مشاعی	استادیار	
٤- استاد ناظر خارجی	آقای دکتر علی اکبر بابائی	استاد	
٥- استاد ناظر خارجی	آقای دکتر ناصر شاه طهماسبی	استاد	
٦- استاد ناظر خارجی	آقای دکتر سیداکبر جعفری	استادیار	
۷- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	آقای دکتر اسماعیل ساعی ور	دانشیار	

بسمه تعالی

آیین‌نامهٔ چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان‌نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش‌آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

مادّهٔ ۱ در صورت اقدام به چاپ پایان‌نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

مادّهٔ ۲ در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد/رسالهٔ دکتری نگارنده در رشتهٔ فیزیک است که در سال ۸۹ در دانشکدهٔ علوم پایه دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر امیرزادی، مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر علی اصغر شکری و مشاورهٔ سرکار خانم/جناب آقای دکتر ——— از آن دفاع شده است.»

مادّهٔ ۳ به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادّهٔ ۴ در صورت عدم رعایت مادّهٔ ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ‌شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادّهٔ ۵ دانشجو تعهد و قبول می‌کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادّهٔ ۴ را از محلّ توقیف کتابهای عرضه‌شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادّهٔ ۶ اینجانب بهرام عابری دانشجوی رشته فیزیک مقطع دکتری تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می‌شوم.

نام و نام‌خانوادگی: بهرام عابری

تاریخ و امضا: ۸۹/۶/۲۱

بسمه تعالی
جمهوری اسلامی ایران

شماره .....
تاریخ .....
پیوست .....

دانشگاه تربیت مدرس
معاونت پژوهشی

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ٤- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ٥- این آیین‌نامه در ٥ ماده و یک تبصره در تاریخ ۸۷/٤/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/٤/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب بهرام عابدی دانشجوی رشته فیزیک ورودی سال تحصیلی ۸۵-۸۴ مقطع دکتری دانشکده علوم پایه متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا: .....
تاریخ: ۸۹/۲/۲۴

تهران، جلال آل احمد، پل نصر
صندوق پستی: ۲۱۸-۱۴۱۱۵
تلفن: ۸۸۰۱۱۰۰۱
دورنگار: ۸۸۰۰۵۰۳۵

تقدیم به

روح آسمانی شهید سرلشکر منصور ستاری

تشکر و قدردانی

از استاد راهنمای گرامی جناب آقای دکتر یزدانی که در طول تحقیق و نگارش رساله حاضر زحمات بسیاری را متحمل شدند صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین بر خود لازم می‌دانم که از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر علی اصغر شکری به پاس زحمات بی‌دریغ و راهنمائی‌های ارزشمندشان بعنوان استاد راهنمای دوم رساله کمال تشکر و سپاسگزاری را داشته باشم.

چکیده

هدف از انجام رساله حاضر مطالعه خواص ترابردی در چند لایه‌ایهای مغناطیسی بود. در بین چند لایه‌ایهای مذکور اتصالات تونلی Fe/MgO/Fe (MTJ)، بعلت داشتن مقاومت مغناطیسی (TMR) بالا، کاربردهای گسترده‌ای را در صنعت ذخیره اطلاعات پیدا کرده‌اند. یکی از عمده‌ترین مشکلات در مطالعه MTJهای Fe/MgO/Fe اختلاف زیاد بین مقاومت‌های مغناطیسی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده است. محاسبات مقاومت مغناطیسی‌ای بزرگتر از ۱۰۰۰% را پیش‌بینی می‌کنند در حالیکه مقدار اندازه‌گیری شده کمتر از ۳۰۰% است. احتمال داده می‌شود این اختلاف بزرگ از اکسیدشدگی فصل مشترک Fe/MgO ناشی شده باشد که نخست در محاسبات وارد نشده بودند. تعدادی از محققین با مد نظر قرار دادن اثر اکسیداسیون کاهش چشمگیری را در TMR محاسبه شده مشاهده کردند. به هر حال، هنوز اختلاف نظرهای زیادی در رابطه با وقوع یا عدم وقوع اکیسداسیون در فصل مشترک وجود دارد.

در این رساله، خواص ترابردی اتصالات تونلی اکسیدی و غیر اکسیدی Fe/MgO/Fe نخست با استفاده از روش ماتریس انتقال مطالعه شده‌اند. توابع موج درون الکتردها از نوع بلاخ انتخاب شده و برای درون سد پتانسیل یک موج میرا نوشته شده که در فصول مشترک با توابع موج الکترودها پیوستگی دارند. جرم وابسته به اسپین الکترونها در هر ناحیه از محاسبات آغازین باندهای انرژی استخراج شده‌اند و اثرات پلاریزگی اسپین در فصول مشترک با استفاده از محاسبات ممان ثابت در نظر گرفته شده‌اند. برای MTJهای غیر اکسیدی TMR محاسبه شده با مقادیر تجربی مطابقت دارد ولی در این روش TMR بزرگتری برای حالت اکسیدی پیش‌بینی می‌شود. این امر از پلاریزگی بیشتر اتمهای آهن سطحی ناشی می‌شود. در اتصالات اپیتکسی Fe/MgO در نتیجه انطباق باندهای تقارنی Δ_1 الکترودها و سد پتانسیل ترابرد الکترونی آسانی در اتصال برقرار می‌شود. اکسید شدن فصل مشترک

باعث می‌شود که انطباق مذکور بین باندها تا حدی از بین رفته و عبور جریان با مشکل مواجه شود. روش محاسباتی ماتریس انتقال که ما در اینجا استفاده کردیم قابلیت وارد کردن میزان انطباق باندها را ندارد. بنابراین، بمنظور انجام محاسبات دقیقتر، از روش موفق تابع گرین غیر تعادلی (NEGF) برای محاسبه TMR استفاده شده است. خواص الکترونیکی مورد نیاز سیستم از طریق ترکیب خطی اوربیتالهای اتمی (LCAO) محاسبه شده‌اند.

در ادامه، خواص ظرفیتی اتصالات فوق و تابعیت آنها به میدان مغناطیسی خارجی بررسی شده است. از آنجائی که بار الکتریکی القائی از جانب فصل مشترک در لایه بسیار نازکی در سطح الکترود مقید شده است بنابراین، همانند یک دی‌الکتریک می‌توان به آن گذردهی الکتریکی محدودی نسبت داد. در این کار، مقدار گذردهی نسبی الکترودها محاسبه شده و نشان داده شده که از طریق استفاده از الکترودهائی با گذردهی بالا می‌توان ظرفیت موثر یک MTJ را به ظرفیت هندسی آن بسیار نزدیکتر کرد.

کلمات کلیدی: ترابرد وابسته به اسپین؛ اتصال تونلی؛ مقاومت مغناطیسی؛ ظرفیت مغناطیسی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست شکلها ..... ت

فصل اول: مقدمه ۲

فصل دوم: مدلهای نظری محاسبه TMR

۲-۱ مقدمه ۱۰
۲-۲ روش نیمه کلاسیک بولتزمان ۱۱
۲-۳ مدل جولییر ۲۰
۲-۴ مدل اسلونکزوسکی ۲۲
۲-۵ فرمول کوبو- لندور ۲۳
۲-۶ تقریب نیمه کلاسیکی WKB ۲۵
۲-۷ نقش باندهای انرژی موهومی در تونلزنی الکترون ۳۲

فصل سوم: محاسبه ترابرد وابسته به اسپین در سه لایه ای Fe/MgO/Fe

۳-۱ مقدمه ۳۶
۳-۲ محاسبات ساختار الکترونیکی ۳۸
۳-۳ محاسبات مقاومت مغناطیسی ۴۳

فصل چهارم: محاسبه مقاومت مغناطیسی به روش Tight-Binding

۴-۱ مقدمه ۵۰
۴-۲ ساختار باند MgO ۵۳
۴-۳ تابع گرین سطحی الکترودها ۵۷
۴-۴ هامیلتونی سد پتانسیل ۶۳
۴-۴-۱ فصل مشترک غیر اکسیدی: Fe/MgO/Fe ۶۳
۴-۴-۲ فصل مشترک اکسیدی: Fe/FeO/MgO/Fe ۶۵

۵-۴ اثرات اتصال ۶۷
۶-۴ نتایج TMR ۷۰

فصل پنجم: ظرفیت الکتریکی اتصالات تونلی

۱-۵ مقدمه ۷۳
۲-۵ محاسبه طول پوششی در اتصالات فلز- نیمه‌رسانا ۷۴
۱-۲-۵ تقریب پوشش خطی ۷۵
۲-۲-۵ تقریب پوشش غیر خطی ۷۹
۳-۵ ظرفیت الکتریکی اتصال تونلی $Al/Al_2O_3/Al$ ۸۱
۱-۳-۵ محاسبه ظرفیت اتصال ۸۱
۲-۳-۵ وابستگی ظرفیت اتصال به دما ۸۳
۴-۵ ظرفیت اتصال تونلی $Fe/MgO/Fe$ ۸۶
۲-۴-۵ خواص سطحی ۸۶
۳-۴-۵ محاسبه ظرفیت اتصال ۸۸
۴-۴-۵ اندرکنش تبادلی بین الکترودها ۹۰
۵-۴-۵ خاصیت نفوذپذیری الکتریکی الکترودها ۹۲
۶-۴-۵ وابستگی ظرفیت اتصال به میدان مغناطیسی خارجی ۹۴
فصل ششم: نتیجه‌گیری ۹۸
مراجع ۱۰۴

فهرست شکلها

عنوان **صفحه**

شکل ۱-۱ مدل شماتیک مقاومت الکتریکی برای ترابرد وابسته به اسپین در سه لایه‌ای های فرومغناطیس- عایق- فرومغناطیس ۴

شکل ۱-۲ مدل شماتیک ترابرد الکترونها از طریق دو کانال مستقل از هم برای هر اسپین ۴

شکل ۱-۳ تغیرات مقاومت الکتریکی چند لایه‌ایهای Fe/Cr در آرایش پاد فرومغناطیس بر حسب میدان مغناطیسی اعمالی در دمای 4.2 K ۶

شکل ۱-۴ شارش جریانهای بار J_q و اسپین J_m در مجاورت اتصال فلزات فرومغناطیس و غیرمغناطیس ۷

شکل ۱-۵ نمایش اثر جفت‌شدگی اسپین- بار در فصل مشترک یک اتصال فرومغناطیس- پارامغناطیس ۷

شکل ۲-۱ الگوریتم حل خودسازگار معادله بولتزمان و محاسبه جریان در یک اتصال ۱۴

شکل ۲-۲ وابستگی دمائی مقاومت الکتریکی ترکیب $Gd_{1.5}Ce_{0.5}In$ ۱۸

شکل ۲-۳ یک سد پتانیسل دلخواه در بازه $x = 0 - d$ ۲۸

شکل ۲-۴ احتمال وجود الکترون در طول اتصال به ازای بایاس صفر ۳۱

شکل ۲-۵ چگالی حالات سطحی القاء شده در گاف انرژی نیمه‌رسانا ۳۳

شکل ۲-۶ باندهای انرژی موهومی ZnSe ۳۳

شکل ۳-۱ ساختار اتمی اتصال Fe//MgO/Fe و چگالی حالات موضعی آن ۳۹

شکل ۳-۲ چگالی حالات اتصال در تراز فرمی و پلاریزگی اسپین بر حسب تابعی از شماره لایه‌ها ۴۱

شکل ۳-۳ مقایسه چگالی حالات وابسته به اسپین برای لایه‌ای اول و چهارم سد پتانسیل ۴۲

شکل ۳-۴ نمونه یک سد MTJ اکسی‌دی به ضخامت ۳ لای‌ه اتمی ۴۴

شکل ۳-۵ محاسبات اسپین ثابت ساختار باند Fe در جهت Γ-P ۴۵

شکل ۳-۶ تغییرات TMR بر حسب تابعی از بایاس اعمالی، ضخامت سد و ارتفاع آن ۴۶

شکل ۴-۱ ساختار کریستالی MgO ۵۴

شکل ۴-۲ ساختار باند MgO و چگالی حالات متناظر آن در نقطه تقارنی Γ ۵۷

شکل ۴-۳ تقسیم‌بندی سوپرلایه‌ای کریستال bcc آهن ۵۷

شکل ۴-۴ اتصال تونلی Fe/MgO/Fe با سد پتانسیلی به ضخامت 4 لایه اتمی با تقسیم‌بندی لایه‌ای بخش مرکزی ۵۹

شکل ۴-۵ ساختار هندسی فصول مشترک Fe/FeO و Fe/MgO ۶۴

شکل ۴-۶ مقاومت مغناطیسی اتصالات غیراکسیدی و اکسیدی بر حسب بایاس اعمالی به ازای دو ارتفاع مختلف سد پتانسیل. ۶۶

شکل ۵-۱ مدل شماتیک انرژی فلز (چپ) و نیمه رسانا (راست) قبل از اتصال ۷۵

شکل ۵-۲ چگالی حالات الکترونی GaAs و AlAs ۷۷

شکل ۵-۳ نمونه‌ای از تابعیت دمائی طول پوششی در نیمه‌رساناها و فلزات ۷۷

شکل ۵-۴ پتانسیل الکتریکی القائی در اتصال فلز- نیمه‌رسانا و فلز- فلز ۷۹

شکل ۵-۵ الگوریتم حل خودسازگار معادله پواسون در رژیم غیرخطی ۸۰

شکل ۵-۶ پتانسیل القائی در اتصالهای Al/AlAs و Al/GaAs در دو دمای (K) T = 300 & 500 ..... ۸۰

شکل ۵-۷ نمایش شماتیک پوشش میدان الکتریکی خارجی در درون الکترودهای فلزی ساختار تونلی فلز- عایق- فلز ۸۲

شکل ۵-۸ تغییرات عکس ظرفیت بر حسب ضخامت دی‌الکتریک در اتصالهای تونلی $Al - Al_2O_3 - Al$ و $Pd - Al_2O_3 - Al$ ۸۲

شکل ۵-۹ تغییرات ظرفیت اتصال $Al - Al_2O_3 - Al$ بر حسب دما ۸۴

شکل ۵-۱۰ چگالی حالات وابسته به اسپین و چگالی بار الکتریکی در فصل مشترک Fe/MgO ۸۷

شکل ۵-۱۱ ظرفیت MTJهای Fe/MgO/Fe و Fe/FeO/MgO/Fe بر حسب مغناطیدگی اتمهای فصل مشترک Fe ۸۹

شکل ۵-۱۲ اختلاف اندرکنش تبادلی اتصال Fe/MgO/Fe بر حسب ضخامت MgO ۹۱

شکل ۵-۱۳ سهم الکترونی ثابت‌های دی‌الکتریک حقیقی و موهومی بر حسب انرژی برای فلزات Fe، Al، Cu و Ag ۹۲

شکل ۵-۱۴ تابعیت ظرفیت اتصال Fe/MgO/Fe به میدان مغناطیسی به ازای مقادیر مختلف κ_m ۹۵

فصل ۱

مقدمه

مقدمه

حاملهای بار یعنی الکترونها و حفره‌ها دارای دو مشخصه اساسی بنام بار و اسپین هستند که امروزه بطور گسترده‌ای در قطعات الکترونیک بکار می‌روند. بار با میدان الکتریکی اندرکنش دارد و اسپین، بعلت داشتن ممان مغناطیسی، با میدان مغناطیسی اندرکنش می‌کند. این خاصیت حاملهای بار اساس تکنولوژی ذخیره اطلاعات بر پایه منطق بولین* را تشکیل می‌دهد. حالتهای "۰" و "۱" (بترتیب متناظر با مقاومت بالا و پائین قطعه) بمعنی حالات "خاموش" و "روشن" دستگاه است. در استفاده از خاصیت بار حاملها، حالتهای خاموش و روشن فوق را می‌توان با اعمال یک میدان الکتریکی خارجی به همدیگر تغییر داد همانگونه که ولتاژ گیت در یک ترانزیستور اثر میدانی عبور جریان بین الکترودها را کنترل می‌کند. همچنین می‌توان از خاصیت اسپینی حاملها در قطعات الکترونیکی استفاده کرد و از میدان مغناطیسی خارجی برای کنترل آنها کمک گرفت، چرا که اسپین در هر جهت خاص فقط دارای دو حالت است که اصطلاحا به حالتهای بالا و پائین معروفند و با اعمال میدان مغناطیسی می‌شود جهتهای بالا و پائین اسپین را تعویض کرد. این شاخه از علم الکترونیک که از اسپین بعنوان پایه اصلی انتقال یا ذخیره اطلاعات استفاده می‌کند را «اسپینترونیک» می‌نامند.

قطعات اسپینترونیک عمدتا بعنوان حسگرهای مغناطیسی (برای مثال هِد دیسکهای سخت) و RAM†های مغناطیسی بکار می‌روند. عملکرد این قطعات بر اساس سه خاصیت مهم اسپینی است: مقاومت مغناطیسی

---

* Boolean logic

† Random Access Memory

ناهمسانگرد (AMR)[*] (Potter, 1974)، مقاومت مغناطیسی تونلی (TMR)[†] (Julliere, 1975) و مقاومت مغناطیسی عظیم (GMR)[‡] (Baibich, et al., 1988). بزرگی مقاومت الکتریکی یک سیم فرومغناطیس به آرایش نسبی ممانهای مغناطیسی آن نسبت به جهت جریان عبوری بستگی دارد. این اثر که به AMR مشهور است از نظر تاریخی اولین اثر ترابرد وابسته به اسپین می‌باشد. پدیده TMR در ساختارهای لایه‌ای فرومغناطیس- عایق- فرومغناطیس رخ می‌دهد و در آن بزرگی مقاومت قطعه به آرایش موازی یا پادموازی ممان الکترودهای آن بستگی دارد. این اثر را می‌توان با استفاده از نظریه مات (Mott, 1936) (Mott, 1964) از روی رفتار مستقل مولفه‌های اسپینی بالا و پائین در مواد فرومغناطیس توصیف کرد. وی بیان می‌کند که:

۱. هدایت الکتریکی در فلزات از طریق دو کانال نسبتاً مستقل اسپینهای بالا و پائین صورت می‌گیرد. اسپین در فلزات تقریبا کمیتی پایسته است و احتمال برگشت اسپین[§] در اثر پراگندگی‌ها خیلی کم است، بدین معنی که الکترونهای اسپین بالا و پائین در طی مسافت‌های طولانی با هم آمیخته نشده و بنابراین عمل هدایت بصورت موازی با هم در دو کانال جداگانه انجام می‌پذیرد (شکلهای ۱-۱ و ۱-۲).
۲. در فلزات فرومغناطیس آهنگ مربوط به پراکندگی الکترونهای اسپین بالا و پائین (مستقل از ماهیت مراکز پراکندگی) کاملا با هم متفاوت است. جریان الکتریکی در فلزات عمدتاً بوسیله الکترونهای والانس sp صورت می‌گیرد که جرم موثر کمتری دارند و بنابراین راحتتر جابجا می‌شوند. حالتهای الکترونی d نقش مهمی را در تامین جایگاههای نهائی برای الکترونهای پراکنده شده sp بازی می‌کنند.

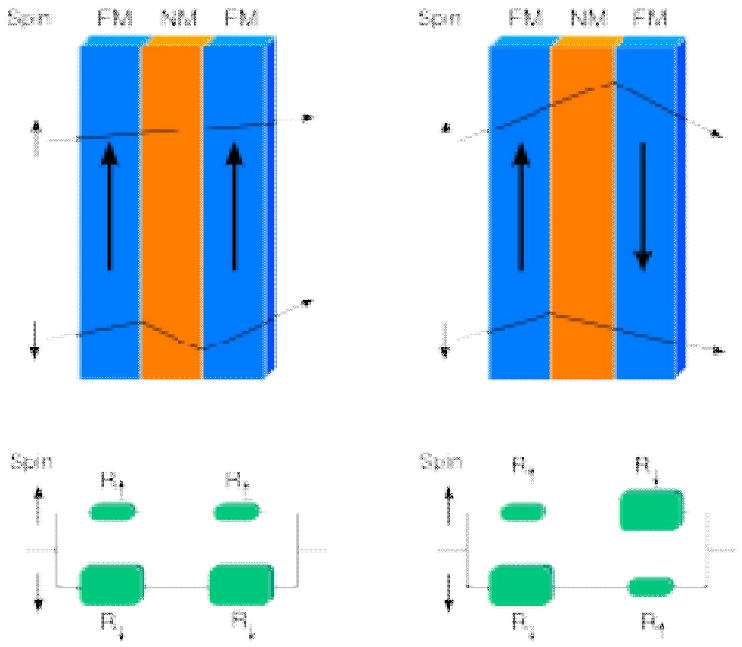
---

[*] Anisotropic Magneto-Resistance

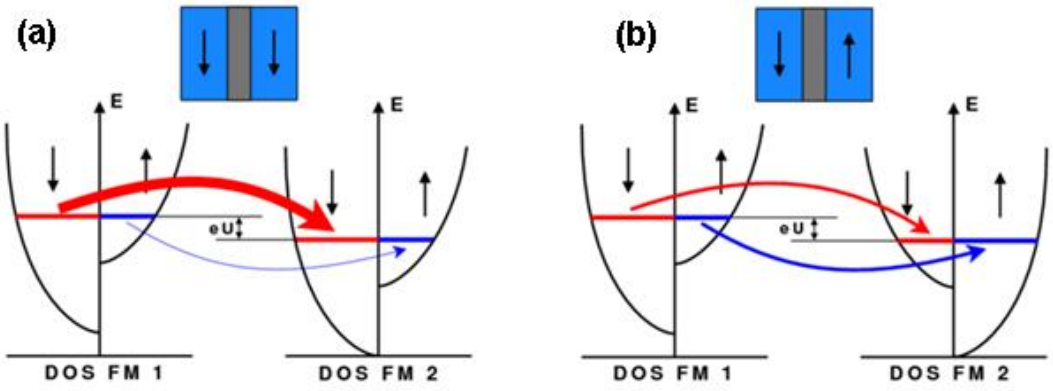
[†] Tunneling Magneto-Resistance

[‡] Giant Magneto-Resistance

[§] Spin-flip



شکل ۱-۱ مدل شماتیک مقاومت الکتریکی برای ترابرد وابسته به اسپین در سه لایه‌ای‌های فرومغناطیس- عایق- فرومغناطیس.



شکل ۱-۲ مدل شماتیک ترابرد الکترونها از طریق دو کانال مستقل از هم برای هر اسپین.

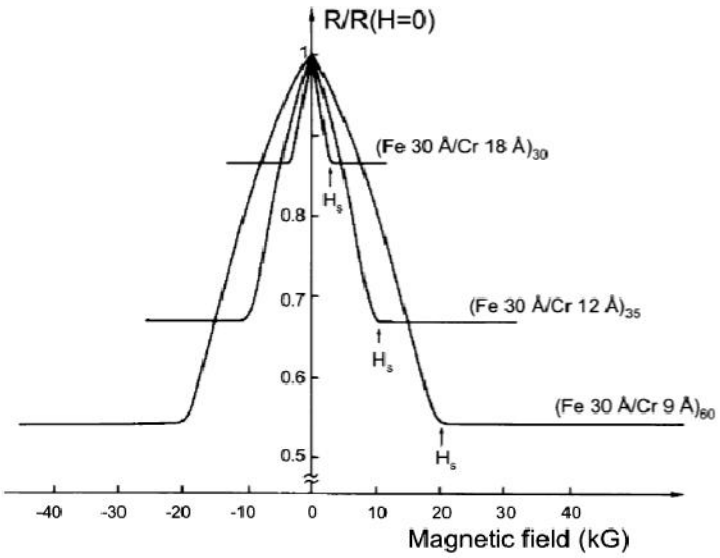
در فلزات فرومغناطیس، بر اثر اندرکنش تبادلی، باندهای اسپین بالا و پائین اوربیتال d از هم جدا هستند و در نتیجه چگالی حالات موجود در سطح فرمی برای الکترونهای ورودی به ازای هر اسپین متفاوت است. بنابراین احتمال پراکندگی الکترون به این باندها متناسب با میزان چگالی حالات موجود بوده و رسانش دو کانال مذکور یکسان نخواهد بود.

GMR اصطلاحا بعنوان تغیرات نسبی ایجاد شده در مقاومت الکتریکی چند لایه‌ایهای فلزی تحت اثر میدان مغناطیسی خارجی تعریف می‌شود. GMR در سال ۱۹۸۸ بطور جداگانه توسط تیم تحقیقاتی گرونبرگ* (کسی که اختراع آنرا در انحصار خود دارد) در مرکز تحقیقاتی یولیش در سه لایه‌ای Fe/Cr/Fe و توسط گروه فِرت† در دانشگاه پاریس جنوبی در چند لایه‌ای های Fe/Cr کشف شد. فِرت کسی بود که برای اولین بار یک GMR بزرگی را در چند لایه‌ای‌ها مشاهده کرد، نام فوق را بر روی این پدیده تازه کشف شده گذاشت، و فیزیک پدیده را بدرستی توصیف کرد. کشف GMR سر آغاز علم اسپینترونیک دانسته می‌شود. گرونبرگ و فِرت تا کنون بارها بابت این کشفشان مورد تقدیر و تشکر قرار گرفته و جوایز متعددی به آنها اهدا شده است که جایزه نوبل ۲۰۰۷ فیزیک از آن جمله است. گفته شد که یکی از عمده‌ترین کاربردهای پدیده GMR در طراحی و ساخت دیسکهای سخت است.

امروزه همگی دیسکهای سخت به دو هِد مجهز هستند که یکی از آنها عمل نوشتن اطلاعات بر روی دیسک را انجام می‌دهد و دیگری عمل خواندن را. برای نوشتن، بوسیله عبور دادن مقدار معینی از جریان الکتریکی از هِد یک میدان مغناطیسی در آن تولید می‌شود. این میدان مغناطیسی تولید شده روی ناحیه‌ای از دیسک که قرار است بیت بر روی آن نوشته شود، تمرکز داده می‌شود. بنابراین، برای عمل خواندن اطلاعات بایستی عکس این

* Peter Grünberg

† Albert Fert



شکل ۱-۳ تغیرات مقاومت الکتریکی بر حسب میدان مغناطیسی اعمالی در دمای 4.2 K برای چند لایه‌ای های Fe/Cr در آرایش پاد فرومغناطیس. فلش‌ها بزرگی میدان مغناطیسی اشباع H_s را نشان می‌دهند که لازم است تا مغناطیدگی لایه‌های Fe را از پادموازی به موازی تغییر دهد (Baibich, et al., 1988).

فرآیند صورت گیرد، یعنی اینکه اطلاعات از طریق اثر القائی بیت مورد نظر خوانده شود. اما با افزایش روز افـزون ظرفیت دیسکها و ذخیره اطلاعات در مساحتی بسیار کوچک، خواندن محتوای یک بیـت بـدلیل اختلالـی کـه از جانب بیت‌های مجاور ایجاد می‌شود، دقت بسیار زیادی را می‌طلبد. GMR پدیده‌ای بود که کشف آن، ضمن حل مشکل فوق، انقلابی را در صنعت دیسکهای سخت باعث شد. در این تکنولـوژی یـک ولتـاژ ثابـت ضـعیفی بطـور پیوسته به دو سر هِد اعمال می‌شود. حال وقتی یک بیت از زیر هِد عبـور کنـد بسـته بـه میـدان مغناطیسـی آن مقاومت الکتریکی هِد و در نتیجه جریان عبوری از آن را تغیر می‌دهد که با بررسی این تغییر جریان می‌تـوان بـه محتویات بیت مذکور پی برد. فیلتر اسپین وسیله‌ای است کـه در آن یـک مـاده غیرمغنـاطیس بـین دو الکتـرود فرومغناطیس قرار می‌گیرد بطوری که مغناطیدگی هر یک را می‌توان بطـور مسـتقل بـا اسـتفاده از یـک میـدان مغناطیسی اعمالی کنترل کرد. هنگامی که جریانی از یک فرومغناطیس به یک غیر مغناطیس جاری می‌شود،