

سید محمد

۱۱۳۷۵۶

دانشگاه کبک

دانشکده علوم

گروه فیزیک

(گرایش حالت جامد)

پایان نامه کارشناسی ارشد

ترابرد اسپین قطبیده بار با دو علامت در نائوساختار نیمر سانای مغناطیسی رفیق

از

فاطمه کشاورز کیاسرائی

استاد راهنما

دکتر صابر فرجامی شایسته

۱۳۸۸ / ۳ / ۲

کتابخانه مرکز علمی پرد
مبند مرکز

(بهمن ماه ۱۳۸۷)



۱۱۳۷۵۶

تقديم به :

پدر و مادر

عزیزم

حمد و سپاس خدای را که با وجود پاک و بی همتایش مرا در لحظه لحظه مراحل زندگی همراهی نمود.

سپاس نثار استاد گرامی جناب آقای دکتر فرجامی شایسته که در طول انجام پروژه از کمک های بی رد یغشان بهره جستیم .

با تشکر از داوران محترم جناب آقای دکتر رجایی و آقای دکتر سیفی که نظرات مؤثری ارائه نمودند هم چنین از جناب آقای صفاری که به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی در جلسه حضور داشتند .
از کلیه اعضای محترم هیئت علمی گروه فیزیک دانشگاه گیلان که در طول این مدت از محضرشان استفاده کردم .

از همه دوستان مهربانم که صمیمانه یازیگرم بودند و حضور گرمشان نقشبند خاطرات زندگی می باشد کمال تشکر را دارم .

فهرست.....	صفحه.....
چکیده فارسی.....	۱.....
چکیده انگلیسی.....	۲.....
مقدمه.....	۳.....
فصل اول-ترابرد وابسته به اسپین در ادوات اسپینترونیکی.....	۶.....
مقدمه.....	۷.....
۱-۱-قطبش اسپینی.....	۷.....
۲-۱-چرخش نوری اسپینی.....	۹.....
۳-۱-مقاومت مغناطیسی بزرگ.....	۱۱.....
۴-۱-مقاومت مغناطیسی تونلی.....	۱۳.....
۵-۱-مکانیسم های واهلش اسپینی و نافازی اسپینی.....	۱۴.....
۱-۵-۱-مکانیسم های الیوت- یافت.....	۱۵.....
۶-۱-شیر اسپینی ذره کوانتومی.....	۱۷.....
۱-۶-۱-هامیلتونی سامانه.....	۱۸.....
۷-۱-تزیق اسپینی در نقاط F/N.....	۲۰.....
فصل دوم-اتصال تونلی در چند لایه های مغناطیسی.....	۲۹.....
مقدمه.....	۳۰.....
۲-۱-آزمایشات اولیه و مدلها.....	۳۳.....
۱-۱-۲-آزمایش تونل زنی قطبش اسپینی.....	۳۳.....
۲-۱-۲-مدل اشتزن.....	۳۶.....
۳-۱-۲-آزمایش و مدل جولیر.....	۳۷.....
۴-۱-۲-مدل سانسکی.....	۴۰.....
۲-۲-آزمایشات اخیر روی اتصالات مغناطیسی.....	۴۳.....
۱-۲-۲-وابستگی به میدان مغناطیسی.....	۴۴.....
۲-۲-۲-وابستگی به ولتاژ خارجی.....	۴۶.....
۳-۲-۲-وابستگی دمایی.....	۴۸.....
۴-۲-۲-وابستگی فرومغناطیسی.....	۴۹.....
۵-۲-۲-وابستگی سد تونل زنی.....	۵۲.....
۳-۲-اتصالات تونل زنی غیر مغناطیسی.....	۵۵.....
۴-۲-ساختارهای مغناطیده نا هم راستا.....	۵۸.....
۵-۲-ترابرد الکترونی در نقطه های کوانتومی مغناطیسی.....	۶۳.....
۶-۲-رروش بستگی قوی.....	۶۶.....
۷-۲-محاسبه ترابرد وابسته به اسپین در نقطه کوانتومی.....	۶۷.....

۶۷	۱-۷-۲ - نقطه کوانتومی مغناطیسی و غیر مغناطیسی
۷۵	۸-۲ نتایج عددی و بحثها
۷۵	۱-۸-۲ نتایج عددی نقطه کوانتومی متناوب غیر مغناطیسی
۸۰	فصل سوم - انتقال پلاریزه اسپینی دوتایی الکترون و حفره در نانو ساختارها
۸۱	مقدمه
۸۲	۱-۳ پخش و نفوذ اسپینی پلاریزه
۸۷	۲-۳ پلاریزه اسپینی در پیوند مغناطیسی p-n
۸۹	۱-۲-۳ انتقال حامل ها و اسپین در ناحیه خنثی
۹۳	۲-۲-۳ مشخصه های اسپین و حامل ها در ناحیه p
۹۶	۳-۲-۳ مشخصه های اسپین و حامل ها در ناحیه n
۹۸	۳-۳ پلاریزه اسپینی حفره در پیوندهای p-n
۱۰۰	۴-۳ بررسی کوانتومی حالات الکترون و حفره در DMS QD
۱۰۵	۱-۴-۳ اثر میدان مغناطیسی
۱۰۶	۲-۴-۳ اثرات شعاعی نقطه کوانتومی
۱۱۰	۵-۳ انتقال وابسته به اسپین پلاریزه در DMS QD
۱۱۳	۱-۵-۳ انتقال الکترون از یک نقطه کوانتومی مغناطیسی رقیق
	$Cd_{1-x}Mn_xTe / Cd_{1-y}Mg_yTe$
۱۱۶	۲-۵-۳ اثرات تغییرات شعاعی نقطه کوانتومی
۱۱۸	۳-۵-۳ اثرات میدان الکتریکی
۱۱۸	۴-۵-۳ اثر میدان مغناطیسی
۱۱۹	۵-۵-۳ انتقال الکترون از $E \neq 0$, $Cd_{1-x}Mn_xTe / Cd_{1-y}Mg_yTe$
۱۲۱	۶-۳ نقطه کوانتومی مغناطیسی رقیق در یک چاه کوانتومی مربعی
۱۲۶	۷-۳ ترابرد اسپینی حفره در چند لایه های مغناطیسی
۱۳۰	فصل چهارم - نتایج
۱۳۲	۱-۴ نتایج
۱۳۳	۲-۴ پیشنهاداتی برای ادامه کار
۱۳۵	پیوست
۱۳۶	پیوست الف
۱۳۸	پیوست ب
۱۴۰	منابع

- شکل ۱-۱- تزریق اسپینی از یک فلز فرومغناطیس F به درون یک ۸
ناحیه غیر مغناطیسی
- شکل ۲-۱- گذارهای بین نواری در GaAs ۱۲
- شکل ۳-۱- سمت چپ به مغناطش موازی سامانه فرو مغناطیسی مربوط می شود..... ۱۴
و شکل سمت راست مغناطش های پاد موازی را توجیه می کند..... ۱۸
- شکل ۵-۱- شیر اسپینی ذره کوانتومی..... ۱۸
- شکل ۶-۱- دستگاه مختصات که محور Z آن محور کوانتس ذره کوانتومی است ۲۰
- شکل ۷-۱- تغییرات فضایی پتانسیل الکترو شیمیایی در نزدیکی مرز انتخاب گر اسپینی..... ۲۴
- شکل ۱-۲- مشاهده مقاومت مغناطیسی بزرگ قابل تکرار در دمای اتاق ۳۲
- شکل ۲-۲- تونل زنی در یک اتصال FM-I-SI..... ۳۴
- جدول ۱-۲- قطبش اسپینی مشاهده شده در اتصالات تونلی ۳۵
- جدول ۲-۲- تخمین بردار موج فرمی برای الکترونهاي d مانند..... ۳۷
- شکل ۴-۲- تغییر نسبی رسانش بر حسب ولتاژ بایاس در اتصال ۳۹
 $Fe/Ge/Co$ در دمای $4/2$ کلوین
- شکل ۵-۲- شماتیک پتانسیل برای دو الکتروود فرو مغناطیس جدا شده..... ۴۱
با یک سد عایق مستطیلی
- شکل ۶-۲- قطبش اسپینی رسانش تونل زنی بر حسب ارتفاع سد نرمالیزه شده..... ۴۳
- شکل ۷-۲- وابستگی TMR به میدان الکتریکی ۴۵
- شکل ۸-۲- وابستگی زاویه مقاومت مغناطیسی یک اتصال در یک میدان مغناطیسی ۴۶
- شکل ۹-۲- وابستگی دمایی TMR در اتصال سد اکسید آهن..... ۴۹
- جدول ۳-۲- مقایسه تجربی و تئوری TMR در اتصالات تونل زنی ۵۰
- شکل ۱۰-۲- TMR به صورت تابعی از ضخامت سد عایق اکسید آهن..... ۵۲
- شکل ۱۱-۲- نمایی از چگالی حالات قطبش اسپینی..... ۵۴
- شکل ۱۱-۲- نمایی از چگالی حالات قطبش اسپینی..... ۵۴
- شکل ۱۳-۲- چگالی جریان تونل زنی در $T=0$ بصورت تابعی از ولتاژ ۵۶
- شکل ۱۴-۲- شماتیک ساختار کوانتومی FM/QD/FM ۶۷
- شکل ۱۵-۲- نمایی از سیستم FM/QD/FM ۷۰
- شکل ۱۶-۲- مشخصه $I-V$ در ساختار NM/QD/FM ۷۶
- شکل ۱۷-۲- شماتیک چگالی الکتروود ها و نقطه کوانتومی برای ساختار NM/QD/FM ۷۷
- شکل ۱۸-۲- مقاومت مغناطیسی بر حسب ولتاژ خارجی در ساختار NM/QD/FM ۷۹

- شکل ۳-۱- تصویری از تراز های انرژی در یک پیوند ناهمگن مغناطیسی ۸۳
- شکل ۳-۲- شماتیکی از پیوند مغناطیسی $p-n$ ۹۰
- جدول ۳-۱- کمیت های لازم برای محاسبه جریان اسپینی در پیوند $p-n$ ۹۱
- شکل ۳-۳- پلاریزه اسپینی جریان و پلاریزه چگالی اسپینی ۹۵
- شکل ۳-۴- تزریق اسپینی درون یک پیوند $p-n$ ۹۷
- شکل ۳-۵- انرژی ۸ حالت الکترون در حالت پایه یک نقطه کوانتومی ۱۰۵
- شکل ۳-۶- انرژی حالت پایه حفره در یک نقطه کوانتومی در میدان های مغناطیسی ۱۰۶
- مختلف برای حالت های مختلف
- شکل ۳-۷- انرژی الکترون و حفره در حالت پایه نقطه کوانتومی ۱۰۷
- شکل ۳-۸- توابع موج حالت پایه برای $B=0$ ۱۰۸
- شکل ۳-۹- توابع موج حالت پایه حفره برای دو شعاع مختلف ۱۰۹
- شکل ۳-۱۰- ضرایب انتقال وابسته به اسپین برای انرژی های مختلف فرمی الکترون ۱۱۵
- در عرضهای مختلف
- شکل ۳-۱۱- ضرایب انتقال وابسته به تغییرات انرژی فرمی الکترون ۱۱۶
- شکل ۳-۱۲- ضرایب انتقال وابسته به میدان الکتریکی خارجی ۱۱۷
- شکل ۳-۱۳- ضرایب انتقال وابسته به اسپین تابعی از میدان مغناطیسی ۱۱۸
- شکل ۳-۱۴- ضرایب انتقال وابسته به اسپین تابعی از انرژی فرمی ۱۱۹
- در یک میدان الکتریکی صفر
- شکل ۳-۱۵- مقدار انتظاری تکانه زاویه ای به صورت تابعی از اندازه QD ۱۲۴
- شکل ۳-۱۶- نمایی ارزش ها انرژی حالت پایه حفره برای دو نقطه کوانتومی ۱۲۴
- شکل ۳-۱۷- ضرایب انتقال حالت پایه غیر تبهگن تابعی از طول نقطه کوانتومی ۱۲۵
- شکل ۳-۱۸- آفست نواری پنج لایه مغناطیسی ۱۲۷
- شکل ۳-۱۹- ضرایب انتقال عبوری تابعی از طول لایه دوم و چهارم ۱۳۰

ترابرد اسپین قطبیده بار با دو علامت در نا نوساختار نیمرسانای مغناطیسی رقیق

فاطمه کشاورز کیاسرائی

پایان نامه حاضر به مطالعه و بررسی خواص وابسته به اسپین الکترون و حفره در ترابرد الکتريکی درون نانو ساختارها در حضور میدان الکتريکی و مغناطیسی اختصاص دارد. همچنین انتقال دوتایی اسپین پلاریزه مربوط به الکترون و حفره در نیمه رساناهای آلاییده (پیوند های مغناطیسی) با در نظر گرفتن اثر جفت شدگی اسپین - بار مورد بررسی قرار گرفته شود.

اثرات مقاومتی در چند لایه های مغناطیسی فلزی و نیمه رساناها، مقاومت مغناطیسی بزرگ و مقاومت مغناطیسی تونلی را بوجود می آورند که باعث تحقیقات گسترده ایی بر روی مواد مغناطیسی و لایه های نازک مغناطیسی گردیده است. مطالعه اثرات اندازه کوانتومی، میدان مغناطیسی و میدان الکتريکی خارجی بر روی خصوصیات و جریان خروجی اسپینی، پارامترهای اسپینی را بر حسب این کمیت ها در اختیار قرار می دهند که این مباحث در نیمه رسانای مغناطیسی رقیق نانو ساختار هم مورد بررسی قرار گرفته است.

مطالعه حاضر، راهگشای ساخت ادوات اسپیترونیکی، به خصوص دیودهای تونل زنی اسپینی و حافظه های کامپیوتری مغناطیسی، با خصوصیات منحصر به خود است.

Abstract

Bipolar spin polarized transport in the nano structure diluted magnetic semiconductors.

Fatemeh Keshavarz kiyasaraye

In the thesis, electron and hole spin dependent properties of electrical been studies the magnetic and electric fields, in spin – polarized bipolar transport both electrons and hole in doped semiconductors(magnetic junction). contribute to spin – charge coupling magneto resistance effects in metallic magnetic multilayer, such as gaint magneto resistance (GMR) and tunneling magneto resistance (TMR) in due to exist extensive searches in to magnetic materials and magnetic thin layes .

One can control the current spin – dependent properties by manipulation the effects of quantum size, external electrical and magnetic fields on the spin – polarized currents These are discussions in nano structures diluted magnetic semiconductore

The extracted results may shed on light on designing the spintronics devices. Like the, tunneling diodes and computer magnetic random access memories.

Key words: spin-dependent polarized transport; diluted magnetic semiconductors; p-n magnetic junction

علم اسپیترونیک یا اسپین الکترونیک چگونگی دست یابی به درجات آزادی اسپینی در سیستم های حالت جامد را مطالعه می کند. تراپرد اسپینی با تراپرد الکتریکی بدلیل پایداری اسپین در جامدات بواسطه ی جفت شدگی اسپین - مدار و جفت شدگی ساختار فوق ریز، تفاوت هایی دارد.

موضوع اصلی در اسپیترونیک تولید موثر درجات آزادی اسپینی در سیستم های حالت جامد است.

در اینجا واژه اسپین می تواند برای یک الکترون یا حفره باشد که بواسطه ممان مغناطیسی اش $gM_B S$ - قابل آشکار سازی است. منظور از کنترل اسپین، کنترل جمعیت و فاز اسپینی یک مجموع ذرات و یا تولید یک جریان اسپینی در سیستم است.

هدف اسپیترونیک درک و فهم برهمکنش اسپین ذرات با محیط جامد آن به منظور ساخت قطعات مفید صنعتی است. مطالعات بنیادی اسپیترونیک شکل بررسی تراپرد اسپینی، دینامیک اسپینی و واهلش اسپینی در مواد الکترونیکی است.

کمیت اسپین توسط پاول دیراک ، برای اولین بار به عنوان درجه آزادی افزون بر درجه آزادی فضایی برای حامل های بار معرفی شد . در الکترونیک سنتی از بار حامل ها برای انتقال داده ها و اطلاعات استفاده می شد حال آنکه مبحث اصلی اسپیترونیک یا همان الکترونیک اسپینی در محیط های جامد ، با در نظر گرفتن اسپین الکترون و حفره و بهره گیری از خصوصیات بار برای پردازش اطلاعات و ذخیره سازی اطلاعات است . بر خلاف بار حامل ها که یک کمیت پایسته است ، اسپین آن ناپایسته بوده و در محیط های جامد بر اثر برهمکنش اسپین - مدار ، فوق ریز تغییر می کند . مطالعه تراپرد الکترونی در مواد مغناطیسی تاریخچه طولانی دارد با این وجود از زمان کشف پدیده هایی مانند مقاومت مغناطیسی بزرگ (GMR)^۱ و مقاومت مغناطیسی تونل زنی (TMR)^۲ در چند لایه های مغناطیسی ، موضوع جالب تر شده و باعث تحقیقات گسترده ای بر روی مواد مغناطیسی و لایه های نازک مغناطیسی گردیده است .

^۱ . Giant magnetic resistance

^۲ . Tunneling magnetic resistance

بهره گیری از قطعات اسپینترونیکی برای کامپیوترها نه تنها حرف یک تخیل هم اکنون در نسل جدید کامپیوترها ، در حافظه در دسترس کاتوره ایی مغناطیسی (MRAM)^۳ استفاده می شود . انجمن اسپینترونیکی امیدوارند که با درک رفتار اسپین الکترون در مواد بتوانند مطالب تازه و اساسی درباره فیزیک حالت جامد بدست آورند که منجر به تولید ادوات الکترونیکی جدیدی مبتنی بر شارش اسپین علاوه بر شارش بار خواهد شد در واقع اسپینترونیکی اجتماع یکپارچه ایی از الکترونیک ، اپتوالکترونیک ، مگنتو الکترونیک است .

اگر اسپینترونیکی مانند یک درختی در نظر گرفته شود در مورد روند پیشرفت فناوری اسپینترونیکی در جهان باید گفت که ریشه آن در سال ۱۹۲۰ ، ساقه اش در سال ۱۹۷۰ و شاخه هایش در سال ۲۰۰۱ بوجود آمده است . بعد از کشف فرضیه وجود خاصیت اسپین برای الکترون در سال ۱۹۲۰ توسط دیراک ، اولین اثر ترابرد مربوط به اسپین در سال ۱۹۶۴ مشاهده شد که در آن مقاومت الکتریکی یک ماده فرو مغناطیس به زاویه نسبی بین مغناطش و جریان بستگی دارد .

بهره گیری از قطعات اسپینترونیکی برای کامپیوترها نه تنها حرف یک تخیل هم اکنون در نسل جدید کامپیوترها ، در حافظه در دسترس کاتوره ایی مغناطیسی (MRAM)^۴ استفاده می شود . انجمن اسپینترونیکی امیدوارند که با درک رفتار اسپین الکترون در مواد بتوانند مطالب تازه و اساسی درباره فیزیک حالت جامد بدست آورند که منجر به تولید ادوات الکترونیکی جدیدی مبتنی بر شارش اسپین علاوه بر شارش بار خواهد شد در واقع اسپینترونیکی اجتماع یکپارچه ایی از الکترونیک ، اپتوالکترونیک ، مگنتو الکترونیک است .

اگر اسپینترونیکی مانند یک درختی در نظر گرفته شود در مورد روند پیشرفت فناوری اسپینترونیکی در جهان باید گفت که ریشه آن در سال ۱۹۲۰ ، ساقه اش در سال ۱۹۷۰ و شاخه هایش در سال ۲۰۰۱ بوجود آمده است . بعد از کشف فرضیه وجود خاصیت اسپین برای الکترون در سال ۱۹۲۰ توسط دیراک ، اولین اثر ترابرد مربوط به اسپین در سال ۱۹۶۴ مشاهده شد که در آن مقاومت الکتریکی یک ماده فرو مغناطیس به زاویه نسبی

^۳ . magnetic random access memory

^۴ . magnetic random access memory

بین مغناطش و جریان بستگی دارد . در سال ۱۹۷۵ جولیر فیزیکدان فرانسوی اتصال تونل زنی مغناطیسی (MTJ)^۰ را طراحی کرد و در سال ۱۹۸۸ پدیده ای به نام مقاومت مغناطیسی بزرگ را کشف کرد . در این پایان نامه ، ترابرد وابسته به اسپین پلاریزه الکترون و حفره در نیمه رساناهای مغناطیسی رقیق نانو ساختار مورد مطالعه قرار گرفته است . جهت پیوستگی مفاهیم اصلی از آوردن محاسبات طولانی در متن صرفنظر کردیم و در عین حال مطالب محاسبات را در پیوست مطرح کردیم . ترتیب مطالب بدین صورت است که در فصل اول مفاهیم پایه ای از تئوری ترابرد اسپین الکترون در ادوات اسپینترونیکی مورد مطالعه قرار گرفته است . در فصل دوم، ترابرد اسپینی در اتصالات تونل زنی مغناطیسی را بررسی می کنیم و در فصل سوم ، ترابرد اسپینی الکترون و حفره را در نیمه رساناهای مغناطیسی رقیق و چند لایه های مغناطیسی رقیق نانو ساختار بدست می آوریم .

^۰ . Magnetic Tunneling Junction

فصل اول

ترابرد وابسته به اسپین

در ادوات اسپینترونیکی

بسیاری از مواد در حالت فرومغناطیسی شان می توانند دارای درجه قابل ملاحظه ای از قطبش اسپینی حامل های در حال تعادل باشند. ایجاد قطبش اسپینی غیر تعادلی به روش های مختلف الکتریکی و اپتیکی انجام می گیرد. به هنگام شارش یک جریان بار در درون یک اتصال فلز غیر مغناطیسی / فلز فرومغناطیسی (F/N) جریان قطبیده ی اسپینی به درون ناحیه ی غیر مغناطیسی وارد می شوند. آزمایشات اولیه ی روی تراپرد وابسته به اسپین توسط تدر و فروی [۱] انجام شد و مدل های مختلف دیگری که تحقیقات گسترده ای در این زمینه را مورد بررسی قرار می دهند. در فصل ۲ به تفصیل بحث شده است و در این فصل تئوری های مختلف بررسی تراپرد وابسته به اسپین و عوامل موثر در آن ها را بررسی می کنیم.

۱-۱- تولید قطبش اسپینی

شیوه های تراپردی نوری و تشدیددی (هم چنین ترکیبات آنها) برای تولید اسپین های غیرتعادلی به کار رفته اند پس از معرفی قطبش اسپینی در اجسام جامد بحثی در ارتباط با تزریق الکتریکی اسپین و آشکارسازی حامل های قطبیده ارائه خواهیم داد. روش تزریق الکتریکی اسپین و چرخش نوری را با جزئیات بیشتری توضیح می دهیم.

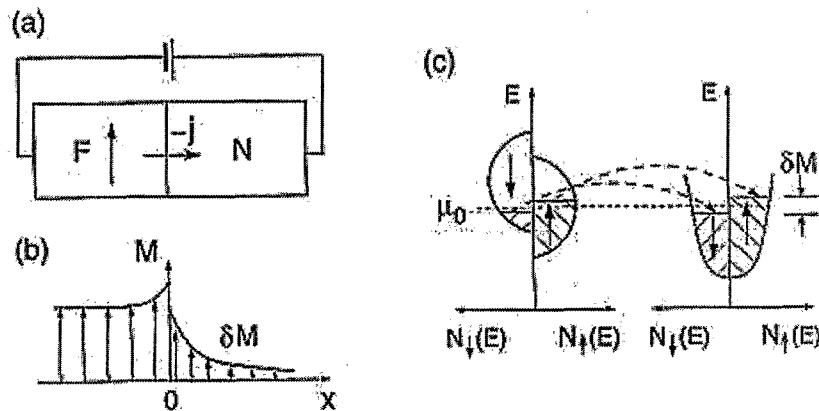
قطبش اسپینی الکترونها و حفره ها را می توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$P = \frac{\chi}{\chi_s} \quad (1-1)$$

که نسبت مجموع $x = x_{\uparrow} + x_{\downarrow}$ به تفاضل $x_s = x_{\uparrow} - x_{\downarrow}$ است که λ می تواند \uparrow یا $+$ (مقداری عددی $+1$) برای اسپین بالا و \downarrow یا $-$ (مقدار عددی -1) برای اسپین پایین نسبت به محور کوانتش انتخابی می باشد. در فلزات فرو مغناطش معمولاً \uparrow یا (\downarrow) به عنوان حامل های بار های مغناطیسی موازی (پاد موازی) با مغناطیس یا حامل های با اسپین اکثریت و اقلیت شناخته می شود. در نیمه هادی ها واژه های اکثریت و اقلیت

به معنای جمعیت نسبی حامل ها ، \uparrow یا $+$ و \downarrow یا $-$ مربوط به عدد کوانتومی m_j نسبت به محور Z (که در راستای انتشار نور یا میدان مغناطیسی اعمال شده) می باشد.

در اینجا باید گفت رابطه (۱-۱) بستگی به کمیت χ ، روش آشکار سازی و نوع ماده حجم (مسطح) دارد. در یک ماده همگن p اندازه گیری شده برای χ های مختلف متفاوت است و مهم این است که کمیت اندازه گیری شده، متناسب با جریان الکتریکی چگالی حامل ها، رسانایی و یا چگالی حالات می باشد.



شکل ۱-۱-الف: تزریق اسپینی از یک فلز فرومغناطیس F به درون یک فلز غیرمغناطیسی (ب). ایجاد مغناطش غیرتعادلی و تجمع اسپینی در N (ج) چگالی حالات حین تزریق اسپین. [۲]

قطبش اسپینی جریان الکتریکی یا چگالی حامل های تولید شده در ناحیه غیر مغناطیسی معمولاً با توصیف بازدهی تزریق الکتریکی اسپینی به کار می رود.

سلزبی^۱ در سال ۱۹۸۰ [۳] بیان کرد که چگالی قطبش غیر تعادلی در ناحیه N به عبارتی مغناطش غیر تعادلی به صورت چشمه نیروی محرکه الکتریکی اسپینی عمل می کند و ولتاژ جفت شده اسپینی قابل اندازه گیری $V_s \delta M$ را بوجود می آورد سلزبی با استفاده از این مفهوم که به عنوان جفت شدگی اسپین نیز شناخته شده،

^۱ . Silsbee

روش آشکار سازی متشکل از دو فرو مغناطیس F_1, F_2 را که با میله ای غیر مغناطیسی از یکدیگر جدا شده بودند ارائه داد. F_1 به عنوان یک تزریق کننده اسپینی و F_2 به عنوان یک آشکار ساز اسپینی به کار می رود. معکوس نمودن جهت مغناطیسی در یکی از فرو مغناطیس ها در یک مدار باز تبدیل $V_s \rightarrow -V_s$ و در یک مدار بسته تبدیل $\vec{A} \rightarrow -\vec{A}$ را به همراه خواهد داشت که نتیجه جفت شدگی اسپین بار سلزی - جانسون است. تزریق اسپینی را می توان به صورت تغییر در مقاومت یا ولتاژ هنگامی که مغناطش در F_1, F_2 از حالت موازی به پاد موازی می رود آشکار سازی کرد. جالب است که محدودیت هایی که در اندازه های قطبش های اسپین مختلف وجود دارد را بدانیم.

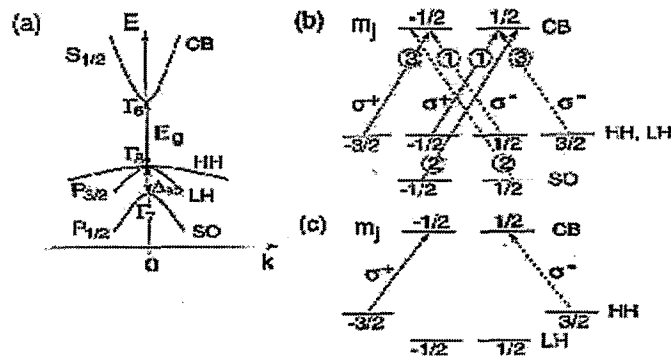
جریان الکتریکی که می تواند با جذب قطبش دایروی نور، جاری شود را با استفاده از مفاهیم چرخش نوری در نیمه هادی ها (با بعدهای تقلیل یافته و یا با تقارن کمتر) و با کمک اندازه و جهت جریان الکتریکی تولید شده کنترل کرد. این به عنوان اثر فوتو ولتایی دایروی (گانچه و پرتل) نامیده شده است. که در این جا، جریان از اختلاف پراکندگی های اسپین - فیلپ الکترون های با حالات اسپینی مختلف در برخی سیستم هایی که تقارن انعکاسی در آنها شکسته شده ایجاد می شود. گستره زیادی از نظریه های تئوری برای قطعاتی که نیروی محرکه اسپینی در آنها ایجاد می کنند و معمولاً به عنوان پمپ های قطبیده اسپینی از آنها یاد می شود، موجود است.

۱-۲- چرخش نوری اسپینی

در یک نیمه هادی، الکترون ها و حفره های قطبیده اسپینی برانگیخته شده نوری به مدت زمان τ ، قبل از باز ترکیب حضور خواهند داشت.

چنانچه کسری از حامل ها پس از زمان ترکیب، با چرخش اولیه موجود باشند، یعنی اگر $\tau < \tau_s$ زمان واهلش اسپینی است) تابش باز ترکیب تا حدی قطبیده خواهد بود.

مفاهیم اولیه چرخش نوری را در **GaAs** که نماینده گروه **III-IV** و **V**، نیمه هادیها با ساختار سولفید روی می باشد را معرفی می کنیم.



شکل ۲-۱: گذارهای بین نواری در GaAs (a): ساختار نواری GaAs در ناحیه مرکزی ناحیه بریلوین (نقطه Γ) که E_g گاف نواری ΔS_0 ، گاف اسپین - مدار، C: نوار رسانش و HH: نوار ظرفیت حفره سنگین، LH: حفره سبک، SO: زیر نوارهای اسپین - مدار و تقارن های مربوط به نقطه $K=0$ و b: قوانین انتخابی برای گذارهای بین نواری زیر ترازهای m_j برای نور با قطبش دایروی σ^+ ، σ^- اعداد داخل دایره بیانگر شدت گذارهای برانگیخته است. [۴]

در حالی که نوار اسپینی از نوارهای حفره سبک و سنگین به اندازه $\Delta S_0 = +0.34 \text{ eV}$ فاصله دارد تشکیل شده اند.

برای محاسبه احتمال برانگیختگی (باز ترکیب) فوتون های فرودی را در جهت z در نظر می گیریم و فرض می کنیم σ^\pm نمایشگر نور برانگیخته باشد، در نمایش عملگر دو قطبی مربوط به σ^\pm جابه جایی هایی نوری به صورت

صورت $(X \pm iY) \propto y'_m$ است هماهنگ کروی می باشد از شکل (۲-۱) می توان نتیجه گرفت:

$$\frac{\langle \frac{1}{2}, -\frac{1}{2} | y'_1 | \frac{3}{2}, -\frac{3}{2} \rangle}{\langle \frac{1}{2}, \frac{1}{2} | y'_1 | \frac{3}{2}, -\frac{1}{2} \rangle} = 3 \quad (2-1)$$

برای شدت انتقالهای مربوط بین حفره سنگین $|m_j = \frac{3}{2}|$ و سبک $|m_j = \frac{1}{2}|$ در زیر نوارها و نوارهای رسانش

به طور مشابه است. نرخ های انتقالی مربوط در شکل (۲-۱) نمایش داده شده اند. قوانین انتخاب برای چرخش

نوری ناخالصی های سطحی، مشابه می باشند و قطبش اسپینی الکترونها را برانگیخته به انرژی فوتون $\hbar\omega$

بستگی دارد برای $\hbar\omega$ بین E_g و $E_g + \Delta S_0$ تنها نور و حفره های زیر نوارهای سنگین شرکت دارند.

چگالی الکترونها با قطبش موازی $m_j = \frac{1}{2}$ و پادموازی $m_j = -\frac{1}{2}$ با n_+, n_- نمایش می دهیم و قطبش

اسپینی را به صورت:

$$P_n = \frac{n_+ - n_-}{(n_+ + n_-)} \quad (3-1)$$

تعریف می کنیم. برای مثال ساختارهای سولفید گونه روی :

$$P_n = \frac{(1-3)}{1+3} = -\frac{1}{2} \quad (4-1)$$

قطبش اسپینی در زمان برانگیختگی نوری است.

بدلیل آنکه انتقال های بیشتری از حفره های سنگین نسبت به حفره های سبک صورت می گیرد لذا اسپین در

خلاف جهت انتشار نور چرخیده خواهد شد و قطبش دایروی تابش به صورت زیر تعریف خواهد شد.

$$P_{circular} = \frac{I^+ + I^-}{I^+ - I^-} \quad (5-1)$$

که I^\pm شدت تابش برای چرخش σ^\pm را نشان می دهد قطبش تابش فوتونی σ^\pm به صورت زیر است:

$$P_{circular} = \frac{(n_+ + 3n_-) - (3n_+ + n_-)}{(n_+ + 3n_-) + (3n_+ + n_-)} = \frac{-P_x}{2} = \frac{1}{2} \quad (6-1)$$

چنانچه برانگیختگی، انتقالهایی را در برداشته باشد یعنی اگر: $\hbar\omega \gg E_g + \Delta s_0$ باشد الکترونها قطبش

اسپینی نخواهند داشت: $P_n = P_{circular} = 0$ که بر نقش اساسی، جفت شدگی اسپین مدار در چرخش اسپینی

اشاره دارد.

از طرف دیگر شکل (۲-۱) نشان می دهد که شکستن تبهگنی حفره های سبک - سنگین می تواند P_n را تا حد

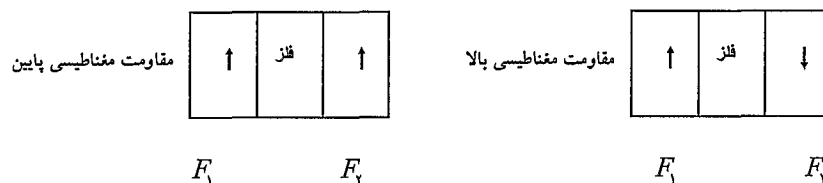
قطبش اسپینی کامل افزایش دهد. افزایش در P_n و $P_{circular}$ در **GaAs** بر اثر اختلاف شبکه در زیر لایه یا

بر اثر محدود بودن چاههای کوانتومی ساختارهای ناهمسان تا حد P_n بزرگتر از $1/9$ مشاهده شده است [۵] و

این باعث تولید الکترون های قطبیده ی اسپینی است.

۱-۳- مقاومت مغناطیسی بزرگ

مقاومت مغناطیسی به صورت تغییر مقاومت ساختارهای چند لایه ای مغناطیسی بر اثر تغییر جهت مغناطش لایه های مجاور تعریف می شود. گروهی از پژوهشگران در سال ۱۹۸۸ نشان دادند زمانی که جهت مغناطش دو لایه ی مجاور موازی (پادموازی) است ، جریان گذرنده از این ساختار بیشینه، (کمینه) است و مقاومت ساختار در صورت پاد موازی موازی بودن مغناطش ها بیشینه (کمینه) است. مقاومت مزبور در این حالت را مقاومت مغناطیسی بزرگ می خوانند. اگر جهت مغناطش دو لایه ی همسایه با هم زاویه φ بسازند در آن صورت جریان تراسیگی با $\cos\varphi$ متناسب خواهد بود [۴] بنابراین می توان با تغییر جهت نسبی مغناطش ها مقاومت را به صورت پیوسته از کمینه به بیشینه سوق داد. این پدیده را اثر شیراسپینی می خوانند. البته در سیستم های الکترونیکی معمولاً میان دو لایه ی مغناطیسی یک لایه ی رسانا یا یک لایه ی بسیار نازک نارسانا قرار می دهند.



شکل ۱-۳- سیمای ترابرد وابسته به اسپین از چند لایه ی فرومغناطیس- فلز- فرومغناطیس در شکل سمت چپ جهت مغناطش ها یکی هستند و مقاومت سیستم کمینه است برخلاف آن در شکل سمت راست مغناطش ها پادموازی اند بنابراین مقاومت بیشینه است در پایان هر دو شکل نمودار چگالی حالت ها کشیده شده است