دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی برق- الکترونیک

پایان‌نامه جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

عنوان :

مدیریت نوری اسپین برای طراحی سوئیچهای نوری

اساتید راهنما

دکتر علی رستمی

دکتر رضا یدی پور

استاد مشاور

دکتر حسین بالازاده بهار

پژوهشگر

مهدی مفتخراقدم

بهمن ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به

پدر عزیزم،

این اسوه باشکوه

که بدیخار سانیدم امتداد اندیشه‌های بلندش.

پاسخی به زحمات بی دریغش

و بوسه ای بر دستان بی منتش.

و

مادر مهربانم،

این نادره وجود

که وجودم همه از اوست.

دستان دعاپیشه و قلب مهربانش

همواره رهگشای من است.

و

سایر اعضاء خانواده‌ام که همیشه یار و یاور من بوده‌اند

سپاسگزاری

سپاس خدای را به کل آن سپاسی که نزدیک‌ترین ملائکه به او، و گرامی‌ترین آفریدگان نزد او، و پسندیده‌ترین ستایش‌گران آستان او، وی را ستوده‌اند. سپاسی بالاتر از سپاس دیگر سپاسگزاران مانند برتری پروردگارمان بر تمام مخلوقات، و او را سپاس و حمد در برابر تمام نعمت‌های او که به ما و به بندگانش که در گذشته بوده‌اند و باقی بندگانش که هستند و می‌آیند دارد. سپاسی به عدد تمام اشیاء که دانش او بر آن احاطه دارد، سپاسی که حدش را پایانی، و شماره آن را حسابی، و پایان آن را نهایتی، و مدت آن را انقطاعی نباشد، سپاسی که باعث رسیدن به

طاعت و بخشش او، و سبب رضا و خشنودی او، و وسیله آمرزش او، و راه به سوی بهشت او، و پناه از انتقام او، و ایمنی از غضب او، و یار و مددکار بر طاعت او، و مانع از معصیت او، و کمک بر اداء حق و وظائف حضرت او باشد. سپاسی که به سبب آن در گروه نیک-بختان از دوستان درآییم، و در سلک شهیدان به شمشیر دشمنانش قرار گیریم، که با حضرت او یاری دهنده و ستوده است.

امام سجاد علیه السلام، (صحیفه سجادیه)

در اینجا بر خود لازم می دانم، از اساتید عزیز و گرانمایه ام جناب آقای دکتر علی رستمی و جناب آقای دکتر رضا یدی پور که راهنمایی پایان نامه بنده را در طی این مدت قبول نموده اند واز جناب آقای دکتر حسین بالازاده بهار که به بنده مشاوره دادند، نهایت تشکر و قدردانی نمایم و همچنین از جناب آقای دکتر ضیاء الدین دایی کوزه کنانی که زحمت داوری این پایان نامه را کشیده اند، سپاسگزاری می نمایم و از تمام کسانی که برایم زحمت کشیده و همیشه دعاگوی من بوده اند، کمال تشکر را دارم.

نام خانوادگی: مفتخراقدم **نام**: مهدی

عنوان پایان‌نامه: مدیریت نوری اسپین برای طراحی سوئیچهای نوری

اساتید راهنما: دکتر علی رستمی و دکتر رضا یدی پور

استاد مشاور: دکتر حسین بالا زاده بهار

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد **رشته**: مهندسی برق-الکترونیک

گرایش: طراحی مدارات مجتمع نوری

دانشگاه: تبریز **دانشکده**: مهندسی برق و کامپیوتر

تاریخ فارغ التحصیلی: ۱۳۸۹/۱۱/۲۰ **تعداد صفحه**:۸۴

کلید واژه‌ها: اسپین،اکسیتون،چاه کوانتومی،نقطه کوانتومی

چکیده:

با توجه به اهمییت سرعت سوئیچینگ در سیستم های تمام نوری در این پروژه تلاش خواهد شد که با استفاده از پتانسیل های بلقوه اسپین الکترون به سوئیچهایی با قابلیت کلید زنی بالا دست یابیم.

خصوصا این کار را بااستفاده از نانو ساختار های کوانتومی انجام خواهیم داد در این پروژه با استفاده از اکسیتون ها به بررسی سوئیچ در ساختارهای شبه دو بعدی می پردازیم.و همچنین با استفاده از حل fdtd معادلات ماکسول کوپل شده با معادلات اکسیتونی به بررسی دقیقتر عمل سوئیچینگ در چاه های کوانتومی خواهیم پرداخت بخصوص با استفاده از این روش اندر کنش پالسهای با عرض زمانی کم با چاه کوانتومی را نیز بررسی خواهیم کرد تا با استفاده از آنها به سرعت های سوئیچینگ بالاتری دست پیدا کنیم. .درادامه با استفاده از روش fdtd ، معادلات ماکسول کوپل شده با معادلات بلاخ را برای پالس های با عرض زمانی کم حل عددی می کنیم و با استفاده از نتایج بدست آمده به بررسی عمل سوئیچینگ اسپینی در محیط آلاییده به نقاط کوانتومی خواهیم پرداخت.

فهرست مطالب

فهرست اشکال VIII

فهرست جداول XII

مقدمه ۱

فصل اول : بررسی منابع ۳

۱-۱ چاه کوانتومی ۴

۱-۲ روش تفاضل محدود ۵

۱-۳ اکسیتون ۸

۱-۳-۱ اکسیتون ها در ساختارهای کوانتومی ۱۰

۱-۳-۲ محاسبه انرژی بستگی اکسیتون در چاه کوانتومی ۱۰

۱-۳-۳ اکسیتون ها در محدودیت دو و سه بعدی ۱۷

۱-۴ اثر اشتارک نوری ۱۹

۱-۵ المانهای ماتریس ممان دو قطبی ۲۱

۱-۶ روش FDTD ۲۴

۱-۶-۱ شبیه سازی یک بعدی در فضای آزاد ۲۴

۱-۶-۲ شرایط مرزی جذب کننده برای یک بعد ۲۶

۱-۷ حل FDTD معادلات ماکسول کوپل شده به معادلات بلاخ ۲۷

فصل دوم مبانی و روشها ۳۲

۲-۱ مقدمه ۳۳

۲-۲ سوئیچینگ با استفاده از حامل های واقعی ۳۳

۲-۲-۱ سوئیچ با چاه دوتایی ۳۴

۲-۲-۲ سوئیچ با چاه کوانتومی چند تایی ۳۷

۲-۲-۳ سوئیچ های اسپینی مخابراتی ۳۸

۲-۳ سوئیچ بر اساس حامل های مجازی ۳۹

۲-۳-۱ مکانیزم غیرخطییت در سوئیچ اسپینی ۴۲۲

۲-۴ قطبش پالس خروجی ۴۳

۲-۴-۱ قطبش پالس در حوزه فرکانس ۴۵

۲-۴-۲ dichroism و birefringence ۴۶

۲-۵ سوئیچ اسپینی با کارکرد در دمای نزدیک به دمای اتاق ۴۸

۲-۶ سوئیچ اسپینی با استفاده از ساختار های فوتونیک کریستالی ۵۰

۲-۶-۱ عملکرد سوئیچ اسپینی با استفاده از ساختارهای فوتونیک کریستال ۵۲

۲-۷ سوئیچینگ با استفاده از اثر فارادی ۵۴

فصل سوم نتایج و بحث ۵۷

۳-۱ مقدمه ۵۸

۳-۲ بررسی تئوری سوئیچ اسپینی ۵۹

۳-۲-۱ روش DCT ۶۰

۳-۳ روش تقریبی ۶۴

۳-۴ بررسی و شبیه سازی سوئیچ های نمونه ۶۵

۳-۴-۱ اثر همبستگی ۶۶

۳-۴-۲ شبیه سازی با استفاده از روش تقریبی روی یک چاه GaAs/AlGaA ۶۶

۳-۵ روش دقیق برای بررسی رفتار سوئیچ ۶۹

۳-۶ بررسی چند چاه با روش دقیق ۷۰

۳-۷ بررسی امکان کاهش زمان سوئیچینگ ۷۴

۳-۸ سوئیچ اسپینی با استفاده از نقاط کوانتومی ۷۷

۳-۹ پیشنهادات ۸۲

منابع ۸۳

فهرست اشکال

فصل اول

شکل ۱-۱ چاه های کوانتومی نوع *I* و *II*.....۵

شکل ۱-۲ چاه کوانتومی همراه با چند حالت گیر افتاده در آن.....۷

شکل ۱-۳ تشکیل اکسیتون.....۸

شکل ۱-۴ تشکیل جفت الکترون–حفره به عنوان اکسیتون.....۹

شکل ۱-۵ انرژی بستگی اکسیتون در چند چاه کوانتومی.....۱۸

شکل ۱-۶ شعاع بوهر مربوط به چند چاه کوانتومی.....۱۸

شکل ۱-۷ آزمایش پمپ و پروب.....۱۹

شکل ۱-۸ تاثیر اثر اشتارک در جابه جایی فرکانس جذب.....۲۰

شکل ۱-۹ جذب در آزمایش پمپ پروب.....۲۱

شکل ۱-۱۰ ثابت ماندن k در انتقال بین باندی.....۲۳

شکل ۱-۱۱ روش fdtd به صورت شماتیکی.....۲۶

فصل دوم

شکل ۲-۱ عملکرد سوئیچ اسپینی در یک ساختار چاه کوانتمی دو تایی.....۳۴

شکل ۲-۲ ساختاری برای پیاده سازی آزمایش پمپ و پروب.....۳۶

شکل ۲-۳ (الف) ضریب شکست های اختلافی (ب) خروجی سوئیچ ۳۷

شکل ۲-۴ یک نمونه دیمالتی پلکتر با استفاده از سوئیچ اسپینی.....۳۸

شکل ۲-۵ ساختار سوئیچ اسپینی بر اساس تشکیل حامل های مجازی.....۴۰

شکل ۲-۶ تغییرات نسبت کنتراست با شدت پالس پمپ.....۴۱

شکل ۲-۷ تغییرات قسمت (a) بیان کننده تغییرات جذبی در انرژی های مختلف است قسمت (b) نشان دهنده قواعد انتخاب است و قسمت (c)مانند قسمت (a) است ولی شدت پالس زیاد شده و در قسمت (d) تاخیر بین پالس ها ps ٤/٨. است.....۴۳

شکل ۲-۸ تغییرات زمانی زاویه های آزیموسی(دایره های توپر) و بیضی شدگی(دایره های توخالی)وپلاریزاسیون.....۴۴

شکل ۲-۹ تغییرات زاویه های آزیموسی(دایره های پر) و پلاریزاسیون(دایره های خالی) برای

تاخیر های زمانی مختلف در انرژی های اطراف رزونانس اکسیتون.....۴۶

شکل ۲-۱۰ مقادیر dichroism وbirefringence ۴۷

شکل ۲-۱۱ تغییرجذبی برای مولفه های راستگرد(دایره های پر) و چپ گرد(دایره های خالی) سوئیچ دردمای اتاق.....۴۹

شکل ۲-۱۲ سوئیچ با استفاده از چاه های کوانتومی در ساختار **فوتونیک کریستالی**.....۵۱

شکل ۲-۱۳ طیف بازتابی در سوئیچ **فوتونیک کریستالی**.....۵۲

شکل ۲-۱۴ تغییرات در بازتابش به ازای تاخیر های مختلف.....۵۳

شکل ۲-۱۵ ساختار سوئیچ اسپینی با استفاده از اثر فارادی.....۵۴

شکل ۲-۱۶ نحوه انتقال ها در سوئیچ بر اساس اثر فارادی.....۵۵

فصل سوم

شکل ۳-۱ قوانین انتخاب برای انتقال های داخل چاه.....۶۲

شکل ۳-۲ اندازه همبستگی اکسیتون ها با اسپین یکسان در چاه.....۶۶

شکل ۳-۳ پالس پروب در خروجی.....۶۷

شکل ۳-۴ پالس پمپ در خروجی.....۶۷

شکل ۳-۵ تغییرات χ برای چند چاه کوانتومی با عرض های مختلف.....۶۸

شکل ۳-۶ دامنه پالس های خروجی از سوئیچ.....۶۸

شکل ۳-۷ مجموع پالس های پمپ ومولفه راستگرد پروب در خروجی.....۷۱

شکل ۳-۸ پالس پمپ در خروجی ۷۱

شکل ۳-۹ مولفه y پالس پروب(مولفه چپ گرد) در خروجی.....۷۲

شکل ۳-۱۰ مولفه y خروجی سوئیچ به ازای پمپ ۸۴ fs و پروب ۴۰ fs.....۷۳

شکل ۳-۱۱ خروجی سوئیچ با عرض پالس های پمپ ۱۶۹ fs و پروب ۸۰ fs.....۷۳

شکل ۳-۱۲ خروجی سوئیچ با عرض پالس های پمپ ۳۳۸ fs و پروب ۱۶۰ fs.....۷۴

شکل ۳-۱۳ خروجی سوئیچ به ازای چاه های کوانتومی با عرض های متفاوت.....۷۵

شکل ۳-۱۴ خروجی سوئیچ به ازای چاه های کوانتومی با عرض های متفاوت با دامنه پروب کاهش یافته.....۷۵

شکل ۳-۱۵ مقایسه زمان سوئیچینگ پالسهای با عرض زمانی متفاوت.....۷۶

شکل ۳-۱۶ ساختار ارائه شده برای سوئیچ اسپینی با نقاط کوانتومی.....۷۷

شکل ۳-۱۷ انتقال های مجاز در نقاط کوانتومی.....۷۸

شکل ۳-۱۸ خروجی سوئیچ اسپینی با استفاده از نقاط کوانتومی.....۷۹

شکل ۳-۱۹ تحلیل فرکانسی پالسهای موجود در خروجی سوئیچ..... ۸۰

شکل ۳-۲۰ اختلاف جمعیتی حاملها بین تراز های ۱و۲ در اثر حضور پالس پمپ..... ۸۱

فهرست جداول

فصل اول

جدول ۱-۱ مقادیر پارامتر اپتیکی چند ماده.....۲۴

فصل دوم

جدول ۲-۱ نسبت زمان واهلش اسپینی حامل ها با عرض چاه کوانتومی.....۳۹

مقدمه

توجه به سوئیچ های نوری با توجه به کاربرد آن در ارتباطات افزایش روز افزونی داشته است علت آن نیز پتانسیل موجود در این سوئیچ ها برای افزایش سرعت سوئیچینگ در ارتباطات بوده است البته استفاده در مخابرات تنها کاربرد سوئیچهای نوری نیست و می توان از آنها در پیاده سازی پردازش های تمام نوری یا ایجاد ارتباطات سریع در داخل ابر رایانه ها استفاده کرد.

توجه به سوئیچ های نوری از دهه ی هفتاد آغاز شده و در دهه نود میزان قابل توجهی از تحقیقات در این زمینه وجود داشته است. در مورد سوئیچ های نوری می توان گفت که سرعت سوئیچینگ و توان مصرفی سوئیچ ازمهمترین پارامترهای سوئیچ می باشند.

از تکنولوژی های موجود در سوئیچینگ نوری می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱-سوئیچ های الکترو-اپتیکی $Ti:LiNbO_3$

۲-سوئیچ های اپتو-مکانیکی(مانند سوئیچ های فیبری)

۳-سوئیچ های کریستال مایع

۴- سوئیچ های SOA

۵-سوئیچ های مبتنی بر MEMS

۶-سوئیچ های مبتنی بر اثر پیزو الکتریک

سوئیچ های مبتنی براسپین الکترون بخاطر امکان ایجاد سوئیچینگ فمتو ثانیه مورد توجه قرار گرفته است و بخصوص از آن برای طراحی سوئیچ هایی با سرعت کلید زنی فمتو ثانیه استفاده شده است. همانطوری که در فصل های بعدی بیان خواهد شد در اوایل در این سوئیچ ها باتنظیم فرکانس پالس ها به فرکانس رزونانس اکسیتون ها حامل های واقعی بوجود می آمد که باعث پایین آمدن سرعت سوئیچ و محدود شدن تکرار عمل سوئیچینگ می شد ولی این مشکل بعدها با استفاده از حامل های مجازی حل شد که در ادامه به بررسی این سوئیچ ها و نحوه عملکرد آنها خواهیم پرداخت.[۱و۲]

فصل اول

بررسی منابع

۱-۱ چاه کوانتومی[1]

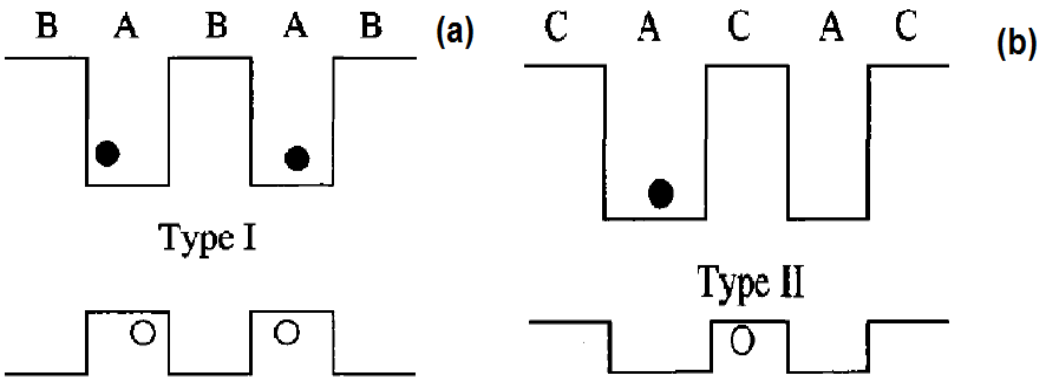
در یک ساختار بالکی حامل ها می توانند در تمام جهات فضا آزادانه حرکت کنند اما این آزادی حرکت رامی توان در ساختارهای کوانتومی مانند چاه کوانتومی محدود کرده و با استفاده از اثر های این محدود شدگی ساختار باندی نمونه مورد نظر را مدیریت کرد و به خواص اپتیکی و الکتریکی دلخواه دست یافت. در یک چاه کوانتومی آزادی حرکت فقط به دو بعد محدود می شود.چاه های کوانتومی با قرار دادن یک لایه نازک نیمه هادی با باند گپ باریک مابین دو لایه با باندگپ بزرگتر بوجود می آیند که در آن اندازه لایه وسطی هنوز از ثابتهای شبکه بزرگتر بوده ولی به اندازه ای کوچک هست که باعث کوانتیزه شدن تابع پوش ذره شود.چاه های کوانتومی را می توان در رنج وسیعی از دستگاه های اپتیکی از مخابرات گرفته تا حافظه های نوری بکار برد.

چاه های کوانتومی را که با استفاده از نیمه هادی ها ساخته می شوند می توان در دو نوع دسته بندی کرد[۳]:

نوع I : که در آن الکترون و حفره در یک لایه گیر افتاده اند.شکل ۱-۱ (a)

نوع II :که در آن الکترون در یک لایه مقید شده و حفره در لایه دیگر.شکل ۱-۱ (b)

[1] Quantum well



شکل۱-۱ چاه های کوانتومی نوع *I* و *II*

برای مثال چاه کوانتومی GaAs/AlGaAs ازنوع یک و چاه کوانتومی InAs/GaSb از نوع دو می باشد که در آن الکترون ها در InAs وحفره ها در GaSb مقید می شوند.

برای بدست آوردن حالتهای انرژی در چاه های کوانتومی باید معادله شرودینگر را برای ساختار های پتانسیلی نشان داده شده در شکل ۱-۱ حل کنیم. برای حل معادله شرودینگر به صورت عددی در اغلب موارد از روش های تقریبی المان محدود[1]، تفاضل محدود[2] و حجم محدود[3] استفاده می شود.ما در اینجا به طور مختصر روش تفاضل محدود را توضیح می دهیم.

۱-۲روش تفاضل محدود

روش تفاضل محدود روشی برای حل معادلات دیفرانسیل به صورت عددی می باشد که ایده اصلی در این روش تقسیم بازه تعریف شده به تعداد مشخصی قسمت و همچنین تقریب مشتقات

[1] Finite Element
[2] Finite Difference
[3] Finite Volume

درجه یک و دو موجود در معادلات تفاضلی برای هر نقطه بازه ی تقسیم بندی شده است که بعد از این گسسته سازی ، معادلات را در قالب ماتریسی مرتب و حل می کنیم .

برای حل معادله شرودینگر مستقل از زمان برای چاه مورد نظر با استفاده از روش تفاضل محدود می توان به این صورت عمل کرد .معادله شرودینگر یک بعدی به صورت زیر بیان می شود:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2}{dx^2}\psi(x)+V(x)\psi(x)=E\psi(x) \qquad (۱-۱)$$

که در آن $V(x)$ بیان کننده پتانسیل چاه می باشد که ذره باجرم m تحت تاثیر آن حرکت می کند همانطوری که گفته شد برای حل این معادله آنرا با استفاده از روش تفاضلات محدود گسسته سازی می کنیم ابتده بازه مورد نظر را به N قسمت تقسیم می کنیم بنابراین برای هر نقطه شبکه می توانیم بنویسیم $x_n = x_{\min} + (n-1)h$ که در آن n مشخص کننده شماره نقطه مورد نظر است و $h=(x_{\max}-x_{\min})/(N-1)$ می باشد.می خواهیم مقدار تابع موج یعنی ψ_n را در هر نقطه شبکه بدست آوریم برا ی این منظور در رابطه بالا مشتق دوم را به صورت زیر تقریب می زنیم:

$$\frac{d^2\psi(x)}{dx^2}|_{x_n} \approx \frac{\psi_{n+1}-2\psi_n+\psi_{n-1}}{h^2} \qquad (۲-۱)$$

و با استفاده رابطه فوق معادله شرودینگر را به صورت زیر گسسته سازی می کنیم:

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\psi_{n+1}-2\psi_n+\psi_{n-1}}{h^2}+V(x_n)\psi_n=E\psi_n \qquad (۳-۱)$$

مجموعه معادلات بدست آمده از رابطه فوق را می توان به صورت معادله مقدار ویژه زیر در نظر گرفت: