

به نام خدا



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه مهندسی برق و الکترونیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق - الکترونیک

عنوان

شبیه سازی و طراحی مدولاتورهای الکترو جذبی در ساختارهای نانو نیمه هادی

استادان راهنما

دکتر علی رستمی

دکتر ضیالدین دائی کوزه کنانی

استاد مشاور

دکتر عباس ظریفکار

پژوهشگر

حامد باغبان اصغری نژاد

تقدیر و تشکر

با تشکر از تمام افرادی که مرا در انجام این پایان نامه یاری نمودند.

از اساتید راهنمای بزرگواریم جناب آقای دکتر علی رستمی و جناب آقای دکتر کوزه‌کنانی که همواره با راهنمایی‌هایشان مرا مورد لطف و عنایت قرار داده‌اند، تشکر و قدردانی می‌کنم و از استاد مشاورم جناب آقای دکتر ظریفکار کمال تشکر را دارم.

از دوست و استاد گرامی جناب آقای دکتر حسن رسولی که همیشه از راهنمایی‌های ایشان بهره‌مند بوده‌ام نهایت تشکر را دارم و آرزومند موفقیت‌های روزافزونشان هستم.

و

از پدر و مادرم که همیشه در تمام سختیها و مشکلات، دلسوزانه حامی و پشتیبان من بوده‌اند کمال سپاسگزاری و قدردانی را دارم.

نام خانوادگی دانشجو: باغبان اصغری نژاد	نام: حامد
عنوان پایان‌نامه: شبیه سازی و طراحی مدولاتورهای الکترو جذبی در ساختارهای نانو کریستال	
استادان راهنما: دکتر علی رستمی، دکتر ضیاءالدین دائی کوزه کنانی استاد مشاور: دکتر عباس ظریفکار	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: برق
گرایش: الکترونیک	دانشگاه: تبریز
تاریخ فارغ‌التحصیلی: ۸۶/۱۱/۷	تعداد صفحه: ۱۱۴
کلید واژه‌ها: الکترو جذب، گذارهای بین درون باندها، نانو نیمه هادی، چاه کوانتومی، نقطه کوانتومی	
چکیده:	
<p>در این پروژه به تحلیل و شبیه سازی مدولاتورهای الکترو جذبی می پردازیم. این نوع مدولاتورها از نوع External هستند و در آنها از پدیده Electro-Absorption برای انجام عمل مدولاسیون استفاده می شود. برای نوع ماده، از نیمه هادیهای Heterostructure مانند AlGaAs/GaAs و AlGaN/GaN/AlN به صورت چاه کوانتومی و نقطه کوانتومی استفاده می شود. اساس مدولاسیون در این ساختارها استفاده از میدان الکتریکی بایاس کننده است که باعث تغییر قله جذب می شود. با تغییر پیک جذب، شدت نور خروجی در طول موج داده شده (ورودی) متغیر خواهد بود که نوع تغییر را میدان الکتریکی تعیین می کند.</p> <p>بنابراین با اعمال میدان الکتریکی پیک جذب اندکی جابجا می شود و میدان نور ورودی در اثر عبور از این محیط، مقدار Transmission وابسته به میدان خواهد داشت. بر این اساس مدولاتور شدت طراحی می شود. برای این کار ابتدا پروسه های نوری دخیل در نیمه هادیهای به صورت well و dot شبیه سازی می گردد و پس از بدست آوردن ویژگیهای ساختار، ضریب جذب ساختار محاسبه میشود و اثر میدان الکتریکی روی مدولاسیون نور بررسی می شود. همچنین به منظور افزایش جذب، ساختارهای جدیدی ارائه شده است. برای بررسی ویژگی های غیر خطی ساختارهای ارائه شده، در قسمتی از این پروژه خواص غیر خطی مرتبه دوم و مرتبه سوم این ساختارها نیز بررسی و بهبود داده شده است.</p>	

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

I	مقدمه
.....	فصل اول : بررسی منابع.....
۱	۱-۱- گذارهای بین درون باندی و درون باندی
۳	۲-۱- اساس عملکرد مدولاتورهای الکتروجدبی در مقابل مدولاتورهای الکترونوری
۵	۳-۱- خواص نوری - الکتریکی نیمه هادیها
۶	۱-۳-۱- اثر فرانز - کلدیش
۱۳	۲-۳-۱- اثر محصور کوانتومی استارک (QCSE)
۱۴	۳-۳-۱- تاثیر میدان الکتریکی موازی با لایه ها
۱۵	۴-۳-۱- تاثیر میدان الکتریکی متعامد
۱۶	۵-۳-۱- اثرهای میدان الکتریکی در دو بُعد روی گذارهای کوانتومی
۱۹	۴-۱- چگالی حالتها در نیمه هادیها
۱۹	۱-۴-۱- چگالی حالتها در نیمه هادیهای دو بعدی
۲۲	۲-۴-۱- چگالی حالتها در نیمه هادیهای صفر بعدی
۲۴	۵-۱- جذب بین باندی (اکسیتونی)
۲۷	۶-۱- جذب نوری در نقاط کوانتومی
۳۳	۷-۱- طراحی مدولاتور الکتروجدبی
۳۴	۱-۷-۱- طراحی موجبر
۳۸	۲-۷-۱- فاکتور محدود شدگی
۳۹	۳-۷-۱- نرخ تمایز
۴۱	۴-۷-۱- تلفات الحاقی
۴۱	۵-۷-۱- پارامتر چیرپ
۴۳	۶-۷-۱- پهنای باند مدولاتور الکتروجدبی
۴۴	۷-۷-۱- مجتمع سازی مدولاتور الکتروجدبی با لیزر
۴۵	۸-۷-۱- روشهای طراحی مدولاتورهای الکتروجدبی

۴۵	Lumped طراحی ۱-۸-۷-۱
۴۸	۲-۸-۷-۱ طراحی موج رونده
۵۲	۸-۱ غیرخطیت در ادوات نوری

..... فصل دوم : مواد و روشها.....

۵۴	۱-۲ مقدمه
۵۴	۲-۲ حل معادله شرودینگر
۵۵	۱-۲-۲ چاه مربعی بی نهایت
۵۷	۲-۲-۲ مربعی محدود متقارن و نامتقارن
۳-۲-۳	روش محاسبات
۶۱	
۶۱	۱-۳-۲ روش عددی تفاضلات محدود
۶۳	۲-۳-۲ حل عددی معادله شرودینگر به روش تفاضلات محدود
۶۴	۴-۲ مدل حل معادلات شرودینگر - پواسن
۷۸	۵-۲ غیرخطیت، جذب والکترو جذب
۸۰	۱-۵-۲ بررسی غیر خطیت مرتبه دوم ($\chi^{(2)}$) در ساختار GaN-AlGaN-AlN نامتقارن
۸۵	۲-۵-۲ ویژگی های الکترو جذبی چاه پتانسیل پله ای نامتقارن
۸۸	۳-۵-۲ غیر خطیت در ساختار جعبه کوانتومی دیفکت دار
۱۰۳	۴-۵-۲ جذب والکترو جذب در ساختار جعبه کوانتومی دیفکت دار

۱۱۱	فصل سوم : نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۱۳	منابع مورد استفاده

فهرست شکلها

صفحه	عنوان
۱	شکل ۱-۱: پروفایل باند هدایت و باند ظرفیت برای یک چاه کوانتومی
۴	شکل ۲-۱: مقایسه مدولاتورهای الکترونوری و الکتروجدبی
۵	شکل ۳-۱: شماتیک یک سیستم مخابراتی فیبر نوری با سه المان پایه فرستنده، کانال مخابراتی و گیرنده
۶	شکل ۴-۱: جذب زیر گاف انرژی یک فوتون در نیمه هادی تحت میدان الکتریکی اعمال شده
۱۱	شکل ۵-۱: جذب حامل آزاد محاسبه شده (a) در میدان صفر و (b) با میدان $E_0 = 10^5 V/cm$
۱۲	شکل ۶-۱: اثر اعمال میدان الکتریکی روی ترازهای انرژی در یک نیم رسانا
۱۴	شکل ۷-۱: پتانسیل کولنی زوج الکترون و حفره در حضور و عدم حضور میدان
۱۵	شکل ۸-۱: تاثیر اعمال میدان موازی با لایه ها روی جذب اکسیتونی
۱۵	شکل ۹-۱: تاثیر اعمال میدان عمود بر لایه ها روی جذب اکسیتونی
۱۶	شکل ۱۰-۱: اثر میدان الکتریکی خارجی روی تراز انرژی، توابع موج و نوارهای انرژی یک چاه کوانتومی
۱۷	شکل ۱۱-۱: طیفهای الکتروجدبی یک قطعه موجبر چاه کوانتومی GaAs به صورت تابعی از میدان اعمال شده عمود بر صفحه لایه ها
۱۸	شکل ۱۲-۱: طیف های فتو جریان برای MQW ۱۰۵ آنگسترومی در سه میدان با بزرگی $2.1 \times 10^4 V/cm$ (منحنی زیرین)، $6.5 \times 10^4 V/cm$ (منحنی میانی) و $1.1 \times 10^5 V/cm$ (منحنی بالایی)
۲۱	شکل ۱۳-۱: (a) نوارهای سهمی وار دو بعدی متناظر با مقادیر E_z (b) چگالی حالت های ذره منفرد در دو بعد (منحنی خط پر) و ذره منفرد در سه بعد (منحنی نقطه چین)
۲۲	شکل ۱۴-۱: چگالی حالت های مشترک کل در دو بعد (منحنی خط پر) و در سه بعد (منحنی خط چین)
۲۳	شکل ۱۵-۱: مقایسه چگالی حالت های صفر بعدی (خطوط پیوسته) و چگالی حالت های سه بعدی (خطوط نقطه چین)
۲۶	شکل ۱۶-۱: طیف جذبی یک نیمه هادی دو بعدی. تابع پله ای جذب حاملهای

آزاد و طیف با قله های جذب تاثیر اثرهای کولنی را نشان میدهد.

۳۱ شکل ۱۷-۱: گذارهای یک زوج الکترون حفره در یک نیمه هادی نقطه کوانتومی

۳۲ شکل ۱۸-۱: طیف های جذبی خطی بلورک های CdS در شیشه در دمای $T=10K$ برای دو نمونه

نقطه کوانتومی و یک نمونه بلورک بزرگ با خواص جذبی توده CdS

۳۳ شکل ۱۹-۱: نمایش سطح مقطع یک مدولاتور الکتروجدبی ساده

۳۵ شکل ۲۰-۱: نمایش سطح مقطع یک موجبر با راستای متعامد (X)

و راستای جانبی (Y) به همراه ناحیه های core و clad

۴۰ شکل ۲۱-۱: روش اندازه گیری تلفات الحاقی و نرخ تمایز یک مدولاتور الکتروجدبی

۴۲ شکل ۲۲-۱: سیستم اندازه گیری پاشندگی یک مدولاتور الکتروجدبی

۴۳ شکل ۲۳-۱: پارامتر سیگنال کوچک آلفا بر حسب تابعی از ولتاژ بایاس مدولاتور

۴۵ شکل ۲۴-۱: نمایشی از ساختار یک مدولاتور الکتروجدبی نوع Lumped

۴۶ شکل ۲۵-۱: مدار معادل ساده شده یک مدولاتور الکتروجدبی نوع Lumped

۴۷ شکل ۲۶-۱: مدار معادل با جزئیات کاملتر یک مدولاتور الکتروجدبی نوع Lumped

۴۹ شکل ۲۷-۱: نمایش ساختار یک مدولاتور الکتروجدبی نوع موج رونده

۴۹ شکل ۲۸-۱: مدار معادل واحد طول یک مدولاتور الکتروجدبی نوع موج رونده

۵۲ شکل ۲۹-۱: نمایش یک قطعه نوری غیر خطی با عملکرد ترکیب فرکانسی

۵۹ شکل ۱-۲: چاه مربعی نامتقارن با عرض L و ارتفاعهای متفاوت

۶۶ شکل ۲-۲: فلوجارت حل همزمان معادلات شرودینگر و پواسن

۶۷ شکل ۳-۲: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی و توابع موج برای چاه $80 A^\circ$ و

سد های $100 A^\circ$ با دوپینگ $1 \times 10^{18} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در ناحیه چاه

۶۸ شکل ۴-۲: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی و توابع موج برای چاه $80 A^\circ$

و سد های $100 A^\circ$ با دوپینگ $1 \times 10^{17} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در ناحیه چاه

۶۸ شکل ۵-۲: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی و توابع موج برای چاه $80 A^\circ$

و سد های $100 A^\circ$ با دوپینگ $2 \times 10^{18} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در ناحیه چاه

- شکل ۲-۶: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی و توابع موج برای چاه $80A^\circ$ و سد های $100A^\circ$ با دوپینگ $5 \times 10^{17} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در ناحیه چاه
- شکل ۲-۷: ساختار پتانسیل باند هدایت و ترازهای انرژی برای چند چاه کوانتومی $40A^\circ$ و سد های $100A^\circ$ با دوپینگ $2 \times 10^{17} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در ناحیه چاه
- شکل ۲-۸: ساختار پتانسیل باند هدایت و ترازهای انرژی برای چند چاه کوانتومی $40A^\circ$ و سد های $100A^\circ$ با دوپینگ $3 \times 10^{17} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در ناحیه چاه.
- شکل ۲-۹: ساختار پتانسیل باند هدایت و ترازهای انرژی برای چند چاه کوانتومی $40A^\circ$ و سد های $100A^\circ$ با دوپینگ $4 \times 10^{17} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در ناحیه چاه.
- شکل ۲-۱۰: ساختار پتانسیل باند هدایت و ترازهای انرژی برای چند چاه کوانتومی $40A^\circ$ و سد های $100A^\circ$ با دوپینگ $5 \times 10^{17} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در ناحیه چاه
- شکل ۲-۱۱: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی و توابع موج برای چاه $50A^\circ$ و سد های $100A^\circ$ با دوپینگ نوع دلتا به عرض $5A^\circ$ و مقدار $2 \times 10^{20} 1/cm^3$ در لبه سد
- شکل ۲-۱۲: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی و توابع موج برای چاه $50A^\circ$ و سد های $100A^\circ$ با دوپینگ نوع دلتا به عرض $5A^\circ$ و مقدار $5 \times 10^{19} 1/cm^3$ در لبه سد
- شکل ۲-۱۳: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی و توابع موج برای چاه $50A^\circ$ و سد های $100A^\circ$ با دوپینگ نوع دلتا به عرض $5A^\circ$ و مقدار $5 \times 10^{19} 1/cm^3$ در لبه سد و میدان خارجی $F_{ext} = 20 kv/cm$
- شکل ۲-۱۴: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی و توابع موج برای چاه $80A^\circ$ و سد های $100A^\circ$ با دوپینگ $1 \times 10^{17} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در چاه بدون در نظر گرفتن اثر exchange
- شکل ۲-۱۵: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی و توابع موج برای چاه $80A^\circ$ و سد های $100A^\circ$ با دوپینگ $1 \times 10^{18} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در چاه بدون در نظر گرفتن اثر exchange
- شکل ۲-۱۶: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی و توابع موج برای چاه $80A^\circ$ و سد های $100A^\circ$ با دوپینگ $1 \times 10^{17} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در چاه با در نظر گرفتن اثر exchange
- شکل ۲-۱۷: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی و توابع موج برای چاه $80A^\circ$ و سد های $100A^\circ$

با دوپینگ $1 \times 10^{18} 1/cm^3$ در سد ها و $1 \times 10^{14} 1/cm^3$ در چاه با در نظر گرفتن اثر exchange

۷۶ شکل ۱۸-۲: اثر تنش بین دو لایه برای دو حالت $a_f > a_s$ و $a_f < a_s$ (a) قبل از رشد،

(b) بعد از رشد و (c) رشد لایه های تنش دار شده

۸۱ شکل ۱۹-۲: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی، تراز فرمی و توابع موج برای چاه

تنش دار به عرض 30 \AA و سد های 10 \AA

۸۱ شکل ۲۰-۲: ساختار پتانسیل باند هدایت، ترازهای انرژی، تراز فرمی و توابع موج برای چاه

بهینه شده پله ای دارای تنش با دوپینگ نوع دلتا

۸۳ شکل ۲۱-۲: غیر خطیت مرتبه دوم در چاه کوانتومی تنش دار برای عرضهای متفاوت چاه

۸۴ شکل ۲۲-۲: غیر خطیت مرتبه دوم در چاه کوانتومی پله دار بهینه شده (سمت چپ) و سه ساختار

غیر بهینه با عرض چاههای باریک، N_w و پله، S_w متفاوت (a) $S_w = 5 \text{ \AA}$, $N_w = 15 \text{ \AA}$ (b)

$S_w = 2 \text{ \AA}$, $N_w = 6 \text{ \AA}$ (c) $S_w = 8 \text{ \AA}$, $N_w = 6 \text{ \AA}$ (سمت راست) با کسر مولی $x = 0.75$

۸۵ شکل ۲۳-۲: غیر خطیت مرتبه دوم در چاه پله دار بهینه شده برای کسرهای مولی متفاوت

۸۶ شکل ۲۴-۲: ضریب جذب (3 → 1) در چاه کوانتومی پله دار بهینه شده برای X های متفاوت

۸۷ شکل ۲۵-۲: ضریب جذب (3 → 1)، ترازهای انرژی و عنصر ماتریسی دو قطبی در چاه کوانتومی

پله دار بهینه شده برای میدانهای خارجی متفاوت اعمالی

۸۸ شکل ۲۶-۲: ضریب جذب (2 → 1)، ترازهای انرژی و عنصر ماتریسی دو قطبی در چاه کوانتومی

پله دار بهینه شده برای میدانهای خارجی متفاوت اعمالی

۸۹ شکل ۲۷-۲: پتانسیل ۳ بعدی ساختار CDQB

۹۱ شکل ۲۸-۲: فلوچارت حل همزمان معادلات شرودینگر و پواسن ۳ بعدی

۹۳ شکل ۲۹-۲: ترازهای انرژی (اول و دوم) در مقابل اندازه دیفکت با پارامتر

کسر مولی دیفکت ($B = 120 \text{ \AA}$, $W = 80 \text{ \AA}$, $xb = 0.35$)

۹۴ شکل ۳۰-۲: ترازهای انرژی (اول و دوم) در مقابل کسر مولی دیفکت با پارامتر

اندازه دیفکت ($B = 120 \text{ \AA}$, $W = 80 \text{ \AA}$, $xb = 0.35$)

۹۵ شکل ۳۱-۲: چگالی صفحه ای حامل ها برای (a) تراز اول و (b) تراز دوم انرژی با

- اندازه های متفاوت دیفکت ($B = 120 A^\circ, W = 80 A^\circ, xb = 0.35, xd = 0.27$)
- ۹۶ شکل ۲-۳۲: عنصر ماتریسی دوقطبی $\langle\langle\psi_f | r | \psi_g \rangle\rangle$ ، در مقابل اندازه دیفکت با پارامتر
کسر مولی دیفکت ($B = 120 A^\circ, W = 80 A^\circ, xb = 0.35$)
- ۹۷ شکل ۲-۳۳: عنصر ماتریسی دوقطبی $\langle\langle\psi_f | r | \psi_g \rangle\rangle$ ، در مقابل کسر مولی دیفکت با پارامتر
اندازه دیفکت ($B = 120 A^\circ, W = 80 A^\circ, xb = 0.35$)
- ۹۸ شکل ۲-۳۴: غیر خطیت مرتبه سوم (m^2/V^2) QEOE در مقابل انرژی فوتون
(a) $xd = 0.2$ (b) $xd = 0.27$ ($B = 120 A^\circ, W = 80 A^\circ, xb = 0.35$)
- ۹۹ شکل ۲-۳۵: غیر خطیت مرتبه سوم (m^2/V^2) THG در مقابل انرژی فوتون
(a) $xd = 0.2$ (b) $xd = 0.27$ ($B = 120 A^\circ, W = 80 A^\circ, xb = 0.35$)
- ۱۰۰ شکل ۲-۳۶: چگالی صفحه ای حامل ها برای (بالا) تراز اول و (پایین) تراز دوم انرژی با انحراف های
متفاوت دیفکت از مرکز ($B = 120 A^\circ, W = 80 A^\circ, D = 10 A^\circ, xb = 0.35, xd = 0.27$)
- ۱۰۲ شکل ۲-۳۷: (a) ترازهای اول و دوم انرژی، (b) عنصر ماتریسی دو قطبی، (c) QEOE در مقابل
انرژی فوتون، (d) THG در مقابل انرژی فوتون برای انحرافهای متفاوت دیفکت از مرکز
($B = 120 A^\circ, W = 80 A^\circ, xb = 0.35$)
- ۱۰۵ شکل ۲-۳۸: ترازهای انرژی (اول و دوم)، عنصر ماتریسی دو قطبی و اختلاف سطوح
فرمی در مقابل اندازه دیفکت ($B = 120 A^\circ, W = 50 A^\circ, xb = 0.35, xd = 0.1$)
- ۱۰۶ شکل ۲-۳۹: چگالی صفحه ای حامل ها برای (a) تراز اول و (b) تراز دوم انرژی با اندازه های
متفاوت دیفکت مرکزی ($B = 120 A^\circ, W = 50 A^\circ, xb = 0.35, xd = 0.1$)
- ۱۰۷ شکل ۲-۴۰: ضریب جذب برای تراز اول به دوم در مقابل انرژی
فوتون ($B = 120 A^\circ, W = 50 A^\circ, xb = 0.45, xd = 0.1$)
- ۱۰۷ شکل ۲-۴۱: ضریب جذب برای تراز اول به چهارم در مقابل انرژی
فوتون ($B = 120 A^\circ, W = 80 A^\circ, xb = 0.45, xd = 0.1$)
- ۱۰۸ شکل ۲-۴۲: (a) ترازهای انرژی و (b) عنصر ماتریسی دو قطبی و اختلاف سطوح فرمی در

مقابل ولتاژ اعمالی (c) ضریب جذب $(1 \rightarrow 2)$ ، در مقابل انرژی فوتون برای ولتاژهای متفاوت

$$(B = 120 A^\circ, W = 50 A^\circ, D = 0, xb = 0.45, xd = 0.1)$$

۱۰۹

شکل ۲-۴۳: (a) ترازهای انرژی و (b) عنصر ماتریسی دو قطبی و اختلاف سطوح فرمی در مقابل ولتاژ اعمالی (c) ضریب جذب $(1 \rightarrow 2)$ ، در مقابل انرژی فوتون برای ولتاژهای متفاوت

$$(B = 120 A^\circ, W = 50 A^\circ, D = 10 A^\circ, xb = 0.45, xd = 0.1)$$

۱۱۰

شکل ۲-۴۴: (a) ترازهای انرژی و (b) عنصر ماتریسی دو قطبی و اختلاف سطوح فرمی در مقابل ولتاژ اعمالی (c) ضریب جذب $(1 \rightarrow 2)$ ، در مقابل انرژی فوتون برای ولتاژهای متفاوت

$$(B = 120 A^\circ, W = 50 A^\circ, D = 15 A^\circ, xb = 0.45, xd = 0.1)$$

فهرست جدولها

صفحه

عنوان

۸۲	جدول (۱-۲): پارامترهای مواد ساختار چاه پتانسیل پله ای تنش دار
۹۲	جدول (۲-۲): پارامترهای مواد در ساختار غیر خطیت نقطه کوانتومی دیفکت دار
۱۰۴	جدول (۳-۲): پارامترهای مواد در ساختار ضریب جذب نقطه کوانتومی دیفکت دار

مقدمه

علی رغم تمامی چالش های فراروی صنعت مخابرات، ترافیک داده هادر اینترنت روز به روز در حال افزایش است و بطور تقریبی این نرخ سالانه دو برابر می شود. پاسخگویی به این ترافیک روبه رشد، نیازمند افزایش پهنای باند سیستم های مخابراتی می باشد. مخابرات فیبر نوری که پایه و اساس مخابرات نوین را تشکیل داده، توانسته است که در پاسخگویی به این رشد سریع ترافیک داده ای موفق عمل کند. با وجود اینکه تکنولوژی های wireless و mobile سهم مهمی در مخابرات امروزی دارند، اما هنگامی که مسئله انتقال سریع داده ها در مسافت های طولانی مطرح می شود، تنها راه حل مناسب مخابرات فیبر نوری است. امروزه انتقال سریع داده ها با نرخ بیت های بالا ($>10G b/s$) در مسافت های طولانی ($>100km$) به عنوان یک استاندارد در سیستم های مخابرات نوری پذیرفته شده است اما هنوز وسوسه و انگیزه دستیابی به سرعت های بالا (پهنای باند بالا) توسط ادوات فوتونیک وجود دارد. از سوی دیگر، هنوز الکترونیک نقش خود را به عنوان علم ما فوق تر نسبت به فوتونیک حفظ کرده است. در سیستم های مخابراتی، انتقال داده ها بصورت نوری انجام می پذیرد اما تمام بخش های مرتبط با سویچینگ و پردازش داده ها بصورت الکترونیک انجام می یابد که باعث پدید آمدن شمار زیادی تبدیلات الکترونیک - نوری و نوری - الکترونیک می شود. در صورتیکه سهم بیشتری از عملیات، در سیستم های مخابراتی بصورت تمام نوری انجام یابد، از پیچیدگی، هزینه و مصرف توان این سیستم ها تا حد زیادی کاسته خواهد شد.

اینکه فوتونیک قادر خواهد بود که جای علم الکترونیک را در سیستم های نوری بگیرد موضوعی است که در آینده بیشتر مشخص خواهد شد. علم الکترونیک تا کنون نقش خود را تطبیق سیستم های الکترونیک - نوری به خوبی ایفا کرده اما در این مورد تردیدی نیست که در حال حاضر سرعت رشد و حرکت علم فوتونیک بیش از الکترونیک می باشد.

طراحی ادوات فوتونیک با سرعت بالا اغلب نیازمند وجود فرستنده های با سرعت بالا است. واضح ترین شکل یک فرستنده و انتقال دهنده توان در یک لیزر (یا حتی در یک LED) نمود پیدا می کند که به راحتی قطع و وصل شده و میتواند عمل مدولاسیون شدت (دامنه) را روی نور ارسالی انجام دهد. اما برای مدولاسیون های با سرعت های بالا ($\geq 10G b/s$) استفاده از یک مدولاتور خارجی¹ که بتواند عمل مدولاسیون دامنه را انجام دهد، بسیار مؤثر تر خواهد بود. مدولاتورهای سریع امروزی عموماً مبتنی بر پدیده الکترو جذب در گذارهای بین باندهای چاه های پتانسیل و یا اثر الکترونوری در کریستال هایی مانند $LiNbO_3$ هستند. مدولاتورهای الکترو جذبی بین باندهای²، عملکرد نسبتاً موفقی در زمینه دسترسی به سرعت های بالا ($\sim 80 Gb/s$) با ولتاژ کاری نسبتاً کم ($\sim 3V$) داشته اند [۱].

ولتاژ کاری (تحریک) پایین یکی از مهم ترین مسائل مدولاتورهاست چراکه تامین ولتاژ تحریک بالا برای پهنای باندهای بسیار بزرگ کار دشواری خواهد بود. یکی دیگر از مهم ترین ویژگی های مدولاتورهای الکترو جذبی بین باندهای، قابلیت یکپارچه سازی آن ها با لیزرهای نیمه هادی است که باعث کاهش هزینه های تولید می گردد.

یکی از موانع و مشکلات پیش روی این نوع از مدولاتورها، مشکل دستیابی به چیرپ³ منفی است. همزمان با مدوله شدن دامنه نور، فاز نور هم مدوله می شود که به این پدیده چیرپ می گویند. چیرپ منفی می تواند تا حدی مشکل پاشندگی فیبرهای نوری را جبران سازی کند و باعث افزایش مسافت قابل انتقال پالس نوری شود.

مانع دیگر، شدت اشباع نسبتاً کم برای این نوع مدولاتورهاست که باعث محدود شدن توان نوری ورودی به فیبرهای می شود. مدولاتورهای Mach-zehnder مبتنی بر اثر الکترونوری نوع دیگری از مدولاتوری

¹ External Modulator

² Interband Electroabsorption Modulators

³ Chirp

نوری هستند که موانع ذکر شده را دارا نیستند اما از سویی دیگر ولتاژ کاری نسبتاً بالایی ($5-10V$) دارند که استفاده از آن ها را در پهناهای باند بالاتر محدود می سازد.

مدولاتورهای الکترونی همچنین نسبتاً بزرگ هستند بطوریکه طول آن ها عموماً در حد چند سانتی متر است. امروزه تکنولوژی ساخت این مدولاتورها در حال رشد و پیشرفت است اما پیشرفت ها و بهبودی های نسبتاً محدودی در عملکرد آن ها انتظار می رود. از اینرو به نظر می رسد که باید مکانیزم های متفاوتی برای ارتقاء ویژگی های مدولاتورها در نظر گرفته شود. استفاده از گذارهای بین درون باندهای^۴ پیشنهاد جدیدی برای مدولاتورهای نوری می باشد [۲ و ۳ و ۴].

در این پایان نامه ویژگی های گذارهای بین درون باندهای طراحی مدولاتورهای الکترونی استفاده شده است و ویژگی های این گذارها در چاه های کوانتومی و نیز نقاط کوانتومی برای ارتقاء ویژگی های این مدولاتورها مورد استفاده قرار گرفته است.

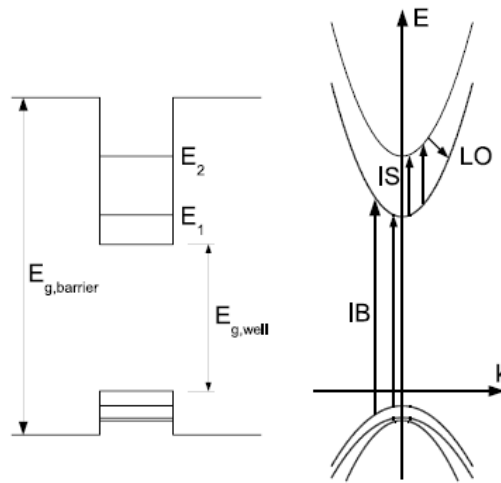
⁴ Intersubband Transitions

فصل اول

بررسی منابع

۱-۱- گذارهای بین درون بانندی و درون بانندی:

در این فصل ابتدا به بررسی پدیده های حاکم بر رفتار الکترو نوری نیمه هادیها میپردازیم و در ادامه پارامترهای مختلف یک مدولاتور را مطرح خواهیم کرد. برای روشن تر شدن مزایای مدولاتورهایی بین درون بانندی نسبت به مدولاتورهایی بین بانندی، بررسی برخی تفاوت ها در گذارهای بین درون و بین بانندی الزامی است.



شکل ۱-۱: پروفایل باند هدایت و باند ظرفیت برای یک چاه کوانتومی

شکل (۱-۱) شماتیک ترازهای انرژی را در یک چاه کوانتومی نمایش می دهد. نکات زیر از جمله عمده تفاوت های جذب و گذارهای بین بانندی و بین درون بانندی می باشد:

۱- ترازهای انرژی داخل یک باند (باند هدایت) تقریباً موازی یکدیگر هستند. این امر سبب می شود گذارهای الکترون داخل باند هدایت تقریباً مستقل از بردار اندازه حرکت الکترون (k) باشد. یعنی الکترون های هم انرژی یک تراز می توانند با جذب انرژی معینی (E) به تراز بالاتر گذار داشته باشند و این عمل باعث کاهش پهنای طیف جذب از نظر انرژی (linewidth) و افزایش دامنه جذب^۱ می شود.

^۱ Absorption Peak

در مقایسه، بدلیل تقعر مخالف باندهای هدایت و ظرفیت، طیف جذب بصورت پله وار^۱ و همراه با پیکهای اکسیتونی است. جذب با دامنه بالا و پهنای انرژی کم باعث می شود مدولاتورهای مبتنی بر گذارهای بین درون باندی (IS) دارای طول کوتاهتری باشند و از اینرو خازن کل قطعه مدولاتور کاهش یافته و پهنای باند محدود شده توسط ثابت زمانی RC قطعه، افزایش می یابد.

۲- گذارهای بین درون باندی دارای زمان واهلش سریع تری نسبت به گذارهای باندی هستند. زمان واهلش بین درون باندی، وابسته به اندرکنش الکترون با فونون های نوری طولی^۲ است که انرژی آنها در حد 10-20meV می باشد. از اینرو این اندرکنش سریع و در زمان های در حدود پیکوثانیه و یا کسری از پیکوثانیه صورت می گیرد. برای یک مدولاتور، بهره مندی از زمان واهلش سریع به معنای عدم حساسیت بالا به اشباع حاملهاست که شدت های بالای نور ورودی به فیبر رخ می دهد. از طرفی دیگر در گذارهای بین باندی، اندرکنش الکترون عموماً با حفره روی می دهد که این پروسه بسیار کند تر از پروسه مذکور در حالت بین درون باندی است.

۳- جذب بین باندی در اثر اعمال میدان الکتریکی خارجی، اثر شیفت و جابجایی به انرژی های پایین تر (red shift) را از خود نشان می دهد که این پدیده همراه با کاهش دامنه جذب است و علت آن ماهیت متفاوت بارهای الکتریکی الکترون و حفره می باشد اما در جذب بین درون باندی، بدلیل ماهیت مشابه توابع موج الکترونها، پدیده جابجایی به طول موج های پایین (blue shift) و افزایش دامنه جذب مشاهده می شود[۵].

ساختارهایی که این ویژگی را از خود نشان می دهند، قابلیت بهتری برای استفاده در مدولاتورهای یکپارچه شده با لیزر دارند[۶]. یکی از عمده ترین دلایل پهن شدگی طیف جذب (بین درون باندی و بین

¹ Step-Like

² Lo-Phonons

باندی)، غیر سهمی وار بودن^۱ ترازهاست که باعث می شود الکترونها انرژی های گذار متفاوتی داشته باشند. به این نوع پهن شدگی، پهن شدگی ناهمگن می گویند^۲.

بطور تجربی و تئوری ثابت شده است که در گذارهای بین درون بانندی بدلیل برخی ویژگی های این گذارها، پهن شدگی های ناهمگن تا حد زیادی از بین می روند حتی اگر درجه غیر پارابولیکی بودن ترازها بالا باشد [۷].

۴- ویژگی مهم دیگر جذب درون بانندی این است که براساس قوانین انتخاب^۳ راستای قطبیدگی (polarization) [۸]، تنها نوری قادر به جذب شدن است که در راستای عمود بر راستای رشد چاه های پتانسیل قطبیده شده باشد.

هر چند برای یک مدولاتور این مسئله یک مشکل جدی نیست (راههای زیادی برای کنترل راستای قطبیدگی نور ورودی وجود دارد)، اما برای کاربردهایی از قبیل تعیین مشخصات یک محیط، این وابستگی به پلاریزاسیون مهم می باشد. از اینرو جذب نور قطبیده TM و نه نور قطبیده TE به عنوان ویژگی جذب بین درون بانندی بیان می شود.

۱-۲- اساس عملکرد مدولاتورهای الکتروجدبی در مقابل مدولاتورهای الکترونوری:

مدولاتورهای دامنه (شدت) براساس پدیده فیزیکی که برای مدوله کردن نور بکار می برند، به دو دسته تقسیم می شوند. دسته اول مدولاتورهایی اند که از اثر الکترو نوری برای تغییر ضریب شکست موجبر و در نتیجه مدولاسیون فاز سیگنال نوری استفاده می کنند. بطور عمومی این دسته از مدولاتورها از یک ساختار تداخل سنچ Mach-zehnder برای تبدیل تغییرات فاز به مدولاسیون دامنه استفاده می کنند.

¹ Non-Parabolic

² Inhomogeneous broadening

³ Selection rules