دانشکده مهندسی برق وکامپیوتر

گروه مهندسی الکترونیک

رساله برای دریافت درجه دکتری

در رشته الکترونیک گرایش مدارات مجتمع نوری

عنوان

تحقق پـردازش تمام نـوری بر اساس تقویت کننده های نوری نیمه هادی مبتنـی بر نقاط کوانتـــومی

استاد راهنما

دکتـرعلی رستـــمی

استاد مشاور

دکتـررضا یـــدی پور

پژوهشگر

حامـد باغبـان

تاریخ ارائه

شهریور 90

بسم الله

تقدیر و تشکر:

این پایان نامه نتیجه همکاری و راهنمایی اساتید و دوستانی است که صمیمانه و بدون هرگونه چشم داشتی بنده را در راه انجام این تحقیق یاری کرده اند. استاد راهنمای بزرگوارم آقای دکتر علی رستمی که سهم ایشان نه تنها در این پایان نامه بلکه در انتخاب مسیر آینده قابل بیان نیست. استاد مشاور عزیزم دکتر رضایدی پور که همواره راهگشای مشکلاتم بوده، دوستان عزیزم آقایان دکتر حسن رسولی و مهندس رضا مرام که همانند سایر اعضای خانواده ام کنارم بوده اند و سرانجام خانواده ام که مانند همیشه بی نظیر بوده اند، قابل ستایش هستند.

در انتها نهایت تشکر و قدردانی را از استاد راهنمایم در دوره فرصت مطالعاتی در دانشگاه صنعتی آیندهوون هلند (TU/e) دکتر Harmen Dorren و نیز دوست و استادم دکتر Motoharu Matsuura را دارم.

نام خانوادگی دانشجو:باغبان اصغری نژاد	**نام:** حامد
اسلك راهنما: دکتر علی رستمی	**استاد مشاور:**دکتر رضا یدی پور
عنوان پایاننامه:	
تحقق پـودازش تمام نـوری بر اساس تقویت کننده های نوری نیمه هادی مبتنـی بر نقاط کوانتـــومی	
مقطع تحصیلی:دکتری	**رشته:** برق- الکترونیک **گرایش:** مدارات مجتمع نوری
دانشگاه: تبریز	**دانشکده:** مهندسی برق و کامپیوتر **تاریخ فارغ‌التحصیلی:**
۱۳۹۰/٦/۱۹	**تعداد صفحه:۱۰۵**
کلید واژهها:نقطه کوانتومی، تقویت کننده نوری نیمه هادی، پردازش نوری، سویچ نوری	

چکیده:

در این پایان نامه به بررسی قابلیتهای تقویت کننده های نوری نیمه هادی مبتنی (QD-SOA) بر نقاط کوانتومی در پردازش تمام نوری با استفاده از روشهای تئوری و عملی پرداخته و برتریها و نقاط ضعف این نوع از تقویت کننده ها را نسبت به تقویت کننده های نوری نیمه هادی بالک و چاه کوانتومی مطالعه می کنیم. برای این تحقیق،روش های مختلف آنالیز رفتار QD-SOA ها از جمله آنالیز مبتنی بر مدل مداری، آنالیز عددی و آنالیز به روشهای تحلیلی را به تناسب نوع کاربرد مورد نظر بررسی می کنیم تا نتایج حاصله تطابق قابل قبولی با نتایج گزارش شده آزمایشگاهی داشته باشند.

با توجه به اهمیت تقویت کننده های نوری نیمه هادی در پردازش های نوری، گیت های منطقی و سویچ های نوری، امکان تحقق چنین پردازنده هایی را توسط QD-SOA ها بررسی کرده و با نتایج گزارش شده مقایسه می کنیم. با در نظر گرفتن ویژگیهای منحصر بفرد QD-SOA ها از جمله زمان بازیابی بهره بسیار پایین در مقایسه با سایر انواع SOA ها، انتظار میرود این ادوات دارای پتانسیل بالایی برای پردازش با سرعتهای بالا باشند. آخرین نتایج عملی گزارش شده حاکی از دستیابی به سرعت تبدیل طول موج 320 Gb/s در QD-SOA ها[1] و دی مالتی پلکسینگ 640 Gb/s به 40 Gb/s در bulk-SOA ها[2] می باشد. با توجه به این که اصلی ترین عامل محدود کننده سرعت پردازش در QD-SOA ها زمان بازیابی بهره است، در این پایان نامه سعی شده روش هایی برای جبران این محدودیت بصورت تئوری پیشنهاد و امکان تحقق آنها در عمل بررسی شود.

[1] M. Matsuura et al., 2011.
[2] E. Tangdionga et al.,2007.

همچنین یکی دیگر از نقاط قوت تقویت کننده های مبتنی بر نقاط کوانتومی نسبت به سایر تقویت کننده ها برخورداری از ویژگیهای غیر خطی با قدرت بالاتر است که دلیل این ویژگیها در QD-SOA ها بررسی شده و فرایند تبدیل طول موج در یک QD-SOA با یک تقویت کننده نوری مبتنی بر چاههای کوانتومی (QW-SOA) در یک آزمایش مقایسه شده است.

یکی از مهم ترین پارامترهای QD-SOA به هنگام مدل سازی و نیز انجام آزمایشهای عملی، نویز ASE مربوط به گسیل خودبخودی از نقاط کوانتومی است که باعث کاهش کیفیت وایجاد محدودیت هایی در عملکرد قطعه می شود. در این پایان نامه اثر این نویز را در فرکانس های مختلف با افزودن یک معادله نرخ برای هر فرکانس به معادلات سیستم بررسی و در عمل نیز میزان این نویز را در جریان های مختلف و نیز توانهای مختلف ورودی مطالعه می کنیم. برای بهبود سرعت عملکرد سیستم ایده تزریق یک نور خارجی بررسی شده و امکان استفاده از چنین منبعی به جای بایاس الکتریکی و مزایا و معایب چنین ساختاری مطالعه می شود.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فهرست شکلها i
فهرست جدول ها..... vii
پیشگفتار ۱
فصل اول : پیشینه تحقیق و بررسی منابع موردمطالعه
۱-۱- مقدمه ٦
۱-۲- پردازش سیگنال تمام نوری مبتنی بر تقویت کننده نوری نیمه هادی (SOA) ٦
۱-۳- تقویت کننده نوری نیمه هادی بالک (Bulk-SOA) ۸
۱-۳-۱- مدل سازی Bulk-SOA..... ۹
۱-۳-۲- معادله انتشار موج میدان نوری درون SOA..... ۹
۱-۳-۳- معادله نرخ Bulk-SOA..... ۱۱
۱-۳-٤-پویایی بهره بین نواری ۱۲
۱-۳-۵-پویاییبهره داخل نواری ۱۵
۱-٤- تقویت کننده ی نوری نیمه هادی نقاط کوانتومی (QD-SOA) ۱٦
۱-٤-۱- معادله های نرخQD-SOA..... ۲۲
۱-۵- مقایسه تقویت کننده های نوری نیمه هادیBulk،QWوQD..... ۲٤
۱-٦- اثرهای غیرخطی در SOA..... ۲۸
۱-۷- کاربردهای SOAدر پردازش تمام نوری و شبکه های تمام نوری ۳۰
۱-۷-۱- مبدل طول موجی بوسیله اثر XGM..... ۳۱
۱-۷-۲- مبدل طول موجی بوسیله اثر XPM..... ۳۲
۱-۷-۳- 3Rهای تمام نوری ۳۳
۱-۷-٤- بازیابی clock..... ۳۷
۱-۷-۵- (دی) مالتی پلکس تمام نوری ۳۷
۱-۷-۵-۱- مالتی پلکس تمام نوری ۳۸
۱-۷-۵-۲- دی مالتی پلکس تمام نوری ۳۹
۱-۷-٦- دروازه های منطقی تمام نوری ٤۰
۱-۷-٦-۱- دروازه منطقی AND..... ٤۰
۱-۷-٦-۲- دروازه منطقی XOR..... ٤۰

۱-۸- افزایش سرعت پردازش در ادوات مبتنی برQD-SOA ٤١
۱-۸-۱- مروورروش های کاهش زمان بازیابی بهره در SOAها ٤١
فصل دوم: مواد و روشهای مورد استفاده در تحقیق
۲-۱- مقدمه ٥٠
۲-۲- مدل دیسک کوانتومی ٥٠
۲-۳- روش های حل معادله های نرخ QD-SOA ٥٤
۲-۳-۱- روش عددی برای حل معادله های نرخ QD-SOA ٥٤
۲-۳-۱-۱- روش عددی تفاضلات محدود برای حل معادله های نرخ QD-SOA ٥٤
۲-۳-۲- روش مدار معادل برای حل معادله های نرخ QD-SOA ٥٥
۲-٤-اثر غیر خطی FWMدر SOAهای bulkو QWدر مقایسه با QD-SOA ها ٦٠
۲-٥- کاهش نویز در شبکه های نوری غیر فعالSS-WDM (SS-WDM PON) ٦٥
فصل سوم: نتایج تحقیق و طرح های پیشنهادی
۳-۱-مقدمه ٦٨
۳-۲-اثر نور تزریقی روی ویژگیهای QD-SOA ٦٨
۳-۳-پمپ نوری QD-SOA ٧٥
۳-۳-۱- عملکرد CW ٧٨
۳-۳-۲- عملکرد پالسی ٨١
۳-٤-اثر سیگنال کنترلی روی چیرپ، شکل زمانی و طیف سیگنال ٨٤
۳-٥-اندازه گیری مشخصات بهره و ASEدر QD-SOA ٨٦
۳-٦-اندازه گیری اثر holding beamروی مشخصات QD-SOA ٨٩
۳-۷-مدل تئوری تکمیل شده برای QD-SOA ٩٣
۳-۸-تبدیل طول موج به روش FWMدر QD-SOA ٩٨
۳-۹- جمع بندی و پیشنهادها ١٠٠
مراجع ١٠٣

فهرست شکل ها

شکل صفحه

شکل 1-1 : سیر تکامل توزیع چگالی حامل های آزاد در باند هدایت، تحریک شده با
یک پالس نوری با پهنای پیکوثانیه..... 11
شکل 1-2 : دینامیک گین و تغییرات فاز محاسبه شده برای پالس ورودی با پهنای 40ps.....15
شکل 1-3 : تغییرات زمانی گین به ازای ورودی گوسین با پهنای200.ps. شکل
راست : دینامیک گین در حالت بین باندی و شکل چپ : دینامیک گین در حالت داخل باندی.....16
شکل 1-4 : شکل پالس خروجی برای به ازای گین های G_0 مختلف با ورودی
گوسین با انرژی$E_{in} / E_s = 0.1$. منحنی با گین صفر شکل موج ورودی است.....17
شکل 1-5 : شکل پالس خروجی برای دو پالس گوسین با پهنای پالس$t_0 = 20ps$ و $t_0 = 2ns$ به ازای گین $G_0=30dB$.....18
شکل 1-6 : طیف پالس خروجی مطابق با شکل موج های شکل 1-4.....18
شکل 1-7 : چرپ فرکانسی اعمال شده به پالس خروجی در طول تقویت پالس
گوسین ورودی به ازای پهنای پالس های مختلف.....19
شکل 1-8 : طیف پالس خروجی برای پهنای پالس های مختلف.....20
شکل 1-9 : نقاط کوانتومی رشد یافته بصورت self-assembled.....20
شکل 1-10: (a) شماتیک در راستای عمودی رشد zمربوط به دو لایه pn و دو لایهٔ نقطه کوانتومی به عنوان ناحیهٔ فعال (b) لبه های باند هدایت و ظرفیت در بایاس مستقیم . الکترونها و حفره ها در پتانسیل چاه گونهٔ ایجاد شده توسط لبه های باند هدایت و ظرفیت نواحی مختلف به دام افتاده و سپس در لایهٔ Wetting و نیز ترازهای نقاط کوانتومی شکار می شوند.(c) پروفایل ضریب شکست که ایجاد یک موجر دی الکتریک می کند (d) پروفایل شدّت مد پایه در یک موجر سه لایه.....21
شکل 1-11 : دیاگرام باند انرژی در حالت بایاس مستقیم یک QD-SOA با یک لایه QD.....21
شکل 1-12: بازیابی گین تقویت کننده محاسبه شده خط ممتد) و اندازه گیری شده
(نقاط). تصویر داخل نتایج محاسبه شده و اندازه گیری شده ی گین اشباع را نشان می دهد.....24
شکل 1-13: تغییر احتمال پر بودن تراز های QD-SOA پس از تزریق یک
پالس نوری با پهنای 150fs برای جریان های مختلف تزریقی.....24
شکل1-14 : چگالی حالت ها به ازای تراز های انرژی برای تقویت کننده با ماده a) Bulk، b) QW و c) QD.....25
شکل 1-15 : زمانی بازیابی گین برای تقویت کننده Bulk (بریده) و QD (تو پر).....25
شکل 1-16: نمونه ای از منحنی گین اشباع برای انواع مختلف جریان تقویت کننده. تعریف نقطه اشباع و گین سیگنال کوچک در شکل نشان داده شده است. چگالی جریان برای Bulk : kA/cm^2 10، QW: kA/cm^2 4 و QD: kA/cm^2 2 است. طول هر سه تقویت کننده 0.5 mm است.....26
شکل1-17: توان خروجی اشباع برحسب چگالی برای انواع تقویت کننده ها.

طول SOA در هرسه تقویت کننده 0.25 mm است.....26
شکل1-18: توان اشباع 3 dB انواع تقویت کننده ها برحسب افزایش طول.....28
شکل 1-19: گین سیگنال کوچک تقویت کننده های مختلف برحسب طول تقویت کننده، چگالی جریان بکار رفته: 1 kA/cm^2 برای QD-SOA، 2 kA/cm^2 برای QW-SOA، 10 kA/cm^2 برای Bulk-SOA.....28
شکل 1-20 :بلوک دیاگرام یک سیستم optical time division multiplexing (OTDM) 30
شکل 1-21 : a) مبدل طول موجی بوسیله اثرXGM در QD-SOA. (b) شماتیک مکانیسم XGM، (اشباع گین در تقویت کننده برای تولید سیگنال تبدیل طول موج شده.).....31
شکل 1-22 : سیگنال ورودی NRZ با نرخ بیت 10 Gb/sو سیگنال تبدیل طول موج شده در خروجی و دینامیک گین مبدل طول موجی مبتنی بر XGM . چگالی جریان اعمالی 0.5 kA/cm^2.....32
شکل 1-23 : a) شماتیک QD-SOA-MZI و b) تابع انتقال متناظر با MZI که توان خروجی برحسب توان ورودی در مقیاس dB نشان داده شده است.....33
شکل 1-24: سیگنال داده ی ورودی با نرخ بیت 200 Gb/s و فرمت RZ و سیگنال تبدیل طول موج شده ی خروجی.....33
شکل 1-25 : شماتیک فرآیند بازیابی سیگنال تخریب شده در 3 مرحله دوباره تقویت،
دوباره شکل دهی و دوباره زمان بندی.....34
شکل 1-26 : اساس دوباره شکل دهی در نتیجه مشخصه تابع انتقال یک3R.....34
شکل 1-27 : اساس عملکرد دوباره زمان بندی برای یک بازسازی 3R بوسیله ساختار MZI 35
شکل 1-28 : پیکربندی یک 3R بوسیله ساختار QD-SOA-MZI 35
شکل 1-29 : سیگنال ورودی با نویز شدید را به همراه سیگنال خروجی دوباره شکل دهی شده.....36
شکل 1-30 : سیگنال ورودی با جیتر و برودنینگ به همراه سیگنال خروجی دوباره زمان بندی شده.....36
شکل 1-31 : سیگنال ورودی که تحت تاثیر نویز، جیتر و پهن شدگی قرار گرفته و سیگنال خروجی بازسازی شده.....36
شکل 1-32: دیاگرام فرایند بازیابی clock بر اساس phase-locked loop.....37
شکل 1-33: دیاگرام فرایند دی مالتی پلکسینگ 4 کانال بر اساس clock بازیابی شده.....37
شکل 1-34 : ساختار مالتی پلکس تمام نوری.....38
شکل 1-35 : سیگنال های داده ی ورودی A و B با نرخ بیت های100Gb/s و خروجی مالتی پلکس شده با نرخ بیت های 200Gb/s.....38
شکل 1-36 : ساختار مالتی پلکس تمام نوری.....39
شکل -37 : سیگنال های داده ی ورودی با نرخ بیت 200Gb/sو خروجی دی مالتی پلکس شده با نرخ بیت 50Gb/s.....39
شکل 1-38: a) جدول درستی عمل منطقی AND، b) تحقق گیت منطقی AND با QD-SOA-MZI 40
شکل 1-39 : a) تابع بولی XOR، b) جدول درستی عمل منطقی XOR، c) تحقق گیت منطقی XOR با QD-SOA-MZI به ازای ورودی داده A و B 41
شکل 1-40: نتیجه شبیه سازی عملکرد گیت XOR برای قطار پالس 200Gb/s.....41
شکل 1-41: شماتیک دیاگرام باندی SOA به همراه انباره حامل.....42

شکل 1-42 : زمان بازیابی گین محاسبه شده برای یک SOA عادی (شکل چپ) و یک SOA دارای انباره حامل به ازای قطار پالس ورودی با نرخ 1 Tb/s (شکل راست).....42
شکل 1-43 : زمان بازیابی گین اندازه گیری شده برای یک SOA با جریان 300 mA دارای و به ازای توانهای مختلف پمپ.....43
شکل 1-44: ساختار اندازه گیری زمان بازیابی گین در حالت انتشار هم جهت.....43
شکل 1-45: ساختار اندازه گیری زمان بازیابی گین در حالت انتشار خلاف جهت.....44
شکل 1-46: تغییرات بازیابی گین برای دو جهت متفاوت انتشار holding beam با توان ورودی 0 dBm و جریان 200mA در طول موج 1530 nm.....45
شکل 1-47: زمان بازیابی گین اندازه گیری شده برای دو جهت متفاوت انتشار holding beam با توان ورودی 0 dBm و جریان های 200mA و 300mA درطول موجهای متفاوت.....45
شکل 1-48 : زمان بازیابی گین اندازه گیری شده برای دو جهت متفاوت انتشار holding beam به ازای توان های ورودی متفاوت و جریان 300mA.....45
شکل 1-49 : شمایی از دینامیک حاملها در حضور اثر TPA در QD SOA، SE: نشر تحریک شده.....46
شکل 1-50 : مدولاسین گین به ازای ورودی پالسی پریودیک 1Tb/s (a) بدون اثر TPA و (b) با وجود اثر TPA.....47
شکل 1-51 : مدولاسین گین به ازای ورودی پالسی غیر پریودیک 1Tb/s (a) بدون اثر TPA و (b) با وجود اثر TPA.....47
شکل 1-52 : تغییرات گین در طول SOA بدون اثر TPA (a) و در حضور اثر TPA (b)در QD SOA.....48
شکل 2-1: ترازهای انرژی حاصله برای E_ρ به روش ترسیمی (محل تقاطع دو منحنی).....53
شکل 2-2 : a) مدل زیر مدار SPICE برای تعیین توان خروجی. b) - d) زیرمدارات معادل برای اندازه گیری v_1، v_2 و v_3 در نتیجه بایاس جریان و پالس ورودی V_{s_in}.....57
شکل 2-3 : مشخصه اشباع گین QD-SOA برای ورودی CW به ازای جریان های تزریقی مختلف.....58
شکل 2-4 : تغییرات زمانی احتمال اشغال بودن GS، ES و WL.....59
شکل 2-5 : توان خروجی و چرپ فرکانسی رشته پالس عبوری از QD-SOA در ناحیه خطی، P_{s_in}= 10μW.....59
شکل 2-6 : توان خروجی و چرپ فرکانسی رشته پالس عبوری از QD-SOA در ناحیه غیر خطی، P_{s_in}= 10mW.....60
شکل 2-7: سیگنالهای ورودی و خروجی به QD-SOA تحت اثر غیر خطی FWM 61
شکل 2-8: راستاهای $\chi^{(3)}_{SHB}$ و $\chi^{(3)}_{CDP}$ در ساختارهای بالک، QW و QD و LEF متناظر با آن.....63
شکل 2-9: بازده عمل FWM در چاه کوانتومی و نقاط کوانتومی با جنس InAs در
طول موج 1.3μm بر حسب فرکانس detuning 64
شکل 2-10: مقادیر گزارش شده برای LEF در نقاط کوانتومی و در طول موجهای حوالی 1.3μm (a) و 1.55μm (b).....64
شکل 2-11: شمای یک شبکه پسیو با ورودی incoherent و متشکل از یک SOA برای کاهش نویز ورودی.....65
شکل 2-12: دیاگرام شدت خروجی بر حسب ورودی یک SOA برای یک ورودی نویز دار.....66
شکل 3-1: ساختار گیت نوری XOR مبتنی بر QD-SOA 69

شکل 3-2: دیاگرام باندی یک نقطه کوانتومی بهمراه ترازهای انرژی آن.....69
شکل 3-3: احتمال اشغال ترازهای الکترونی GS ((f(t)) و ES ((h(t)) در حضور و عدم حضور پالس کنترل. خطوط بریده نشانگر پالسهای ورودی با نرخ بیت 1 Tb/s هستند. جریان بایاس 50 mA و توان سیگنال ورودی، پالس کنترل، و پروب به ترتیب عبارتند از: 200μW، 250μW و 2μW.....71
شکل 3-4: احتمال اشغال ترازهای الکترونی GS ((f(t)) و ES ((h(t)) در حضور و عدم حضور پالس کنترل. خطوط بریده نشانگر پالسهای ورودی با نرخ بیت 2 Tb/s هستند. جریان بایاس 50 mA و توان سیگنال ورودی، پالس کنترل، و پروب به ترتیب عبارتند از: 200μW، 250μW و 2μW.....71
شکل 3-5: دینامیک گین QD-SOA پس از اعمال یک پالس با عرض FWHM برابر 1ps و توان 200μW در حضور و عدم حضور پالس کنترلی در دو وضعیت متفاوت زمانی ورودی و پالس کنترلی. حالت نقطه چین نشان دهنده حالت بدون پالس کنترل است.....72
شکل 3-6: عمل XOR در ساختار یک QD-SOA-MZI برای ورودی با نرخ بیت 1 Tb/s (سمت چپ) و 2 Tb/s (سمت راست) در جریان بایاس 50 mA و توان سیگنال ورودی، پالس کنترلی و پروب به ترتیب 200μW، 2mW و 2μW.....73
شکل 3-7: (سمت چپ) عمل XOR در ساختار یک QD-SOA-MZI برای ورودی با نرخ بیت 2.5 Tb/s در جریان بایاس 50 mA و توان سیگنال ورودی، پالس کنترلی و پروب به ترتیب 200μW، 2mW و 2μW. (سمت راست) دیاگرام های چشمی خروجی های گیت XOR و فاکتور کیفیت متناظر در نرخ بیتهای ورودی 1، 2 و 2.5 Tb/s.....73
شکل 3-8: فاکتور کیفیت گیت XOR برحسب تابعی از زمان آسایش ES به GS برای نرخ بیتهای ورودی 1 و 2 Tb/s 74
شکل 3-9: ساختار مبدل طول موج مبتنی بر استفاده از سیگنال کنترلی موج پیوسته.....75
شکل 3-10: دینامیک گین نرمالیزه شده QD-SOA در حضور و عدم حضور سیگنال کنترلی (شکل بالا) و دیاگرام های چشمی مربوط به خروجی مبدل طول موج در نرخ بیت ورودی 1 Tb/s برای توان های سیگنال کنترلی 10 ، 20، 50 و 75mW (شکل های پایین).....75
شکل 3-11: دیاگرام باندی نقاط کوانتومی به همراه ترازهای انرژی برای ساختار QD-SOA.....77
شکل 3-12: گین QD-SOA پمپ شده به روش الکتریکی و نوری بر حسب طول قطعه و در چگالی جریان و توان تزریقی متفاوت.....80
شکل 3-13: توان شفافیت نرمالیزه شده برای QD-SOA پمپ شده به روش نوری و جریان شفافیت نرمالیزه شده برای QD-SOA پمپ شده به روش الکتریکی برای مقادیر مختلف g_{max}.....81
شکل 3-14: دینامیک چگالی الکترونها در WL به همراه احتمال پر شدگی ترازهای ES و GS برای QD-SOA پمپ شده به روش نوری در توانهای متفاوت (شکل راست) پمپ ورودی و
توان سیگنال 30mW (شکل چپ) سیگنال ورودی و توان پمپ 80mW.....82
شکل 3-15: دینامیک WL و GS در نرخ بیت ورودی 1 Tb/s برای هر دو حالت پمپ الکتریکی و نوری. توان سیگنال ورودی 10mW است.....83
شکل 3-16: چیرپ خروجی QD-SOA برای ورودی گوسین با عرض FWHM معادل 150 fs و توان 10mW.....83

شکل 3-17: مشخصه اشباع گین برای QD-SOA پمپ شده به روش نوری در توان های مختلف پمپ.....84
شکل 3-18: چیرپ QD-SOA برای پالس گوسین 1ps و $I=20mA, P_{Signal}=1mW, P_{CP}=1.5mW, P_{Probe}=3mW, \alpha=1$ 85
شکل 3-19: شکل خروجی (بالا) و طیف خروجی (پایین) برای مقادیر مختلف گین QD-SOA در عدم حضور پالس کنترل....85
شکل 3-20: شکل خروجی (بالا) و طیف خروجی (پایین) برای وضعیتهای زمانی مختلف ورودی و پالس کنترل $(P_{CP}=10mW, P_{Probe}=0.3mW)$.....85
شکل 3-21: چیدمان عملی برای اندازه گیری طیف ASE در جریان های بایاس مختلف.....87
شکل 3-22: طیف ASE مربوط به QD-SOA مورد بحث در جریانهای بایاس مختلف.....87
شکل 3-23: تغییرات طول موج پیک گین و نیز پهنای باند 3dB QD-SOA بر حسب جریان بایاس.....87
شکل 3-24: چیدمان عملی برای اندازه گیری مشخصه اشباع گین و ASE در جریان های بایاس مختلف.....88
شکل 3-25: مشخصه اشباع گین (Fiber-to-Fiber) در جریانهای بایاس مختلف.....88
شکل 3-26: مشخصه اشباع نویز ASE در بایاس های مختلف.....88
شکل 3-27: طیف گین، عدد نویز و توان اشباع متناظر با پهنای باند 3dB برابر با 90nm (ناحیه داخل دو خط عمود) که بالاترین مقادیر گزارش شده بطور همزمان در مورد QD-SOA ها هستند.....89
شکل 3-28: مقایسه پهنای باند انواع تقویت کننده های نوری با QD-SOA های امروزی و نسل آینده.....89
شکل 3-29: چیدمان عملی برای اندازه گیری طول موج شفافیت گین.....90
شکل 3-30: گین فیبر-به-فیبر بر حسب تابعی از توان سیگنال ورودی و توان های HB برابر با 0mW، 4dBm، و 9.1dBm در دو طول موج متفاوت HB.....90
شکل 3-31: طیف QD-SOA ASE به همراه مولفه های سیگنال ورودی
و HB در طول موج شفافیت گین (جریان بایاس 1.5A).....91
شکل 3-32: چیدمان عملی برای اندازه گیری زمان بازیابی گین در حضور holding beam.....92
شکل 3-33: منحنیهای بازیابی گین QD-SOA (a) بدون حضور و (b) در حضور HB، توان HB برابر 9.1dBm است. (x-axis:2 ps/div).....92
شکل 3-34: مقایسه پروسه بازیابی گین در حضور و عدم حضور HB بر اساس fit داده های بدست آمده از OSO.....93
شکل 3-35: (a) دو پالس ورودی با نرخ بیت 10 GHz (x-axis: 20 ps/div, y-axis: 10 mW/div)، (b) منحنی بازیابی گین بدون HB، (c) منحنی بازیابی گین با HB.....93
شکل 3-36: طیف ASE شبیه سازی شده در حضور و عدم حضور HB برای توانهای HB برابر با 0mW، 10- dBm و 0 dBm. چگالی جریان برابر $2\ kA/cm^2$ است. شکل داخلی تحولاتNF برحسب توان HB را نشان میدهد.....97
شکل 3-37: دیاگرام های چشمی (شکل چپ) ورودی نویز دار به فرمت PRBS RZ 2^7-1 و عرض 1 ps با SNR اولیه 10 dB و (شکل راست) خروجی QD-SOA با HB با توان 3 dBm.....97
شکل 3-38: چیدمان عملی برای پیاده سازی عمل تبدیل طول موج به روش FWM با ورودی به فرمت DPSK.....98
شکل 3-39: بازده تبدیل طول موج به روش FWM در QD-SOA در مقایسه با QW-SOA بر حسب detuning طول موج.....98
شکل 3-40: طیف سیگنال ورودی، پمپ و سیگنال خروجی حاصله از FWM در QD-SOA.....99

شکل 3-41: مشخصه BER برای داده های رسیده به گیرنده در نرخ بیتهای 10 Gb/s و 40 Gb/s در مقایسه با حالت پشت به پشت آنها.....100

فهرست جدول ها

جدول صفحه

جدول 2-1 : کاربرد حالتهای مختلف FWM در SOA ها 61
شکل 3-1 : پارامترهای QD-SOA و مقادیر عددی آنها..... 96

پیشگفتار

یک شبکه مخابراتی بطور کلی از 2 قسمت عمده تشکیل می شود: انتقال و کلیدزنی[1]. انتقال بیت های یک داده[2] از یک مبدا به یک مقصد نهایی از طریق مجراهای[3] انتقال و بواسطه ی گره شبکه ی واسط صورت می پذیرد. در این گره ها، برای پیدا کردن مسیر بیت ها برای رسیدن به مقصد، عمل کلیدزنی صورت می گیرد. تکنولوژی های معرفی شده در دهه اخیر در عرصه انتقالات نوری توانسته اند به صورت چشمگیری ظرفیت شبکه های مخابراتی را افزایش دهند. مالتی پلکس طول موجی(WDM)، تقویت کننده ی فیبر آغشته به اربیوم (EDFA) و تقویت کننده ی فیبر رامان، نمونه هایی از این تکنولوژی های جدید هستند. در واقع، ظهور این فناوری ها باعث پیشرفت وسیعی در زمینه تکنولوژی های ارتباطی شده است.

با چنین پیشرفت هایی در زمینه ارتباطی، نیاز مبرم به ظرفیت زیاد در شبکه های ارتباطی به خوبی احساس می شود به طوری که مطالعات نشان می دهد که هر هشت الی دوازده ماه ترافیک اینترنت دو برابر می شود [1]. نتیجه ی مستقیم چنین اشتیاقی به پهنای باند، افزایش ظرفیت یک طول موج در شبکه های سطح پایین، از 2.5 Gb/s و یا کمتر به 10 Gb/s است. البته در حال حاضر سیستم هایی با 4 Gb/s در هر طول موج به صورت تجاری وجود دارد[4]. برای برآورده کردن این پهنای باند مورد نیاز، محققان به صورت مستمر در حال رفع محدودیت های انتقال هستند که نتیجه این تلاش ها در انتقال2.56 Tb/s در یک طول موج [2] و 14 Tb/s (140 مجرا طول موجی باظرفیت 111 Gb/s) در یک لینک WDM[5] [3و4] نشان داده شده است. کلیدزنی داده های انتقال یافته می تواند در 2 حوزه صورت گیرد: الکترونیکی یا نوری. کلیدزنی در حوزه الکترونیک از روش های پیچیده ی مبتنی بر اطلاعات شبکه استفاده می کند و به حدی پیشرفت کرده است که می توان به جرات گفت که تکنولوژی در این زمینه به حد بلوغ خود رسیده است. ترکیب انتقال نوری و کلیدزنی الکترونیکی نتیجه ی خوبی را دربر داشته است و شبکه های تجاری موجود (که اطلاعات در حوزه ی نور انتقال داده می شود و در حوزه الکترونیک سوئیچ می شوند) گواهی بر این ادعا هستند. اما به هر حال کلیدزنی در حوزه ی الکترونیک (بدلیل محدودیت سرعت و ...)، فشار زیادی را از افزایش توانایی انتقال نوری ذکر شده متحمل خواهد شد. این وضعیت زمانی بدتر می شود که مجراهای طول موجی زیادی (که در شبکه های WDM امروزی معمول است) در یک فیبر نوری وجود داشته باشد، زیرا تعداد بسیار زیادی از گیرنده های نوری، مدولاتور ها و لیزرها در هر گره مورد نیاز خواهد بود که در نتیجه شبکه بسیار هزینه بری خواهیم داشت. پردازش سیگنال به صورت الکترونیکی با ظرفیت بالا ،به تناسب، فضا و توان زیادی را نیاز دارد. به عنوان مثال مسیریاب بسیار پیشرفته ی CRS-1 با ظرفیت سوئیچ 92Tb/s مساحت

---

[1] switching
[2] data
[3] channel

[4] جزئیات بیشتر در

http://www.lightreading.com/document.asp?doc id=9656&site=globalcomm.

[5] Wavelength Division Multiplexing

$100m^2$و مصرف توان 1MW و وزن 60 تن را دارا است. برای فائق آمدن به این مشکل، کلیدزنی در حوزه ی نوری می تواند راه حل مناسبی باشد. از مزایای این راه حل می توان به امکان مجتمع سازی، نگهداشتن سرعت بالای داده ها در حوزه ی نوری، حذف روش معماری مسیریابی ذخیره و ارسال، مصرف توان کمتر، اشغال فضای کمتر و نهایتا کاهش هزینه ها را اشاره کرد [5].

با توجه به اینکه در یک شبکه تمام نوری اجزای شبکه از جمله واحدهای پردازش سیگنال و واحدهای مرتبط با تقویت، بازسازی و بازیابی ساعت[6] هر یک به روشهای متفاوتی ساخته می شوند، امکان مجتمع سازی آنها در بیشتر موارد دشوار و حتی غیر ممکن است. به عنوان مثال استفاده از خواص غیر خطی فیبرهای نوری صرفنظر از مزایای آن، قابلیت مجتمع سازی را از بین می برد زیرا عموما طول قابل توجهی از فیبر برای دستیابی به خواص غیرخطی آن مورد نیاز است (طولهایی در حدود چند سانتی متر تا چند صد متر).

در سالهای اخیر مواد نیمه هادی برای پردازش سیگنال تمام نوری بطور وسیعی مورد توجه قرار گرفته اند. از اینرو، تحقیقات زیادی بر روی کاربرد این مواد در لیزرها و تقویت کننده نوری نیمه هادی (SOA) صورت گرفته است.SOA ها از جمله ادواتی هستند که دارای پتانسیل زیادی برای کاربرد در پردازش سیگنال تمام نوری هستند بطوریکه امروزه تقریباً در تمام ساختار های پردازش نوری به عنوان یک المان موثر بکار برده می شوند. این المان از مزایای برجسته ای از جمله آثار غیر خطی قوی و ابعاد کوچک قابل مجتمع سازی برخوردار است.

SOA در کاربردهای خطی بیشتر برای تقویت نوری و در کاربردهای غیر خطی برای پردازش نوری مورد استفاده قرار می گیرد. البته میزان نرخ بیت سیستم های پردازشی مبتنی بر SOA رفته رفته افزایش می یابد بطوریکه با ترکیب فرایندهای cross gain modulation (XGM) و cross phase modulation (XPM)، مبدل طول موجی تمام نوری با یک SOA در نرخ بیت 320 Gb/s حاصل شده است. علاوه بر این پردازشگرها، دروازه[7] های منطقی نوری جایگاه و نقش بسیار مهمی در نائل شدن به شبکه تمام نوری دارند و می توانند نقش مهمی در استخراج و پردازش هدر بسته ی تمام نوری[8] داشته باشند. به عنوان مثال، دروازه های منطقی نوری (بخصوص XOR) در تحقق بخشیدن به پردازش سیگنال بسیار پرکاربرد هستند.

با توجه به مطالب ذکر شده، یکی از نکات مورد توجه در این پایان نامه، بررسی امکان ارتقاء سرعت پردازش در شبکه های تمام نوری است. در حال حاضر سرعتهای گزارش شده برای ادوات مختلف تا حدود چند صد گیگابیت بر ثانیه بوده است. در واقع هدف اصلی این رساله استفاده از QD-SOA به عنوان بلوک پایه واحد پردازش است و ارتقا سرعت عملکرد ادوات مبتنی بر QD-SOA ها یکی از اهداف پایه خواهد بود. یکی دیگر از اهداف این رساله

[6] clock
[7] gate
[8] All-optical packet

بررسی امکان پذیری و نیز طراحی واحدهای قابل پیاده سازی جهت پردازش تمام نوری توسط QD-SOA هاست. یکی از مزایای نیل به این هدف، قابلیت مجتمع سازی واحد پردازش اســـت.

یکی دیگر از نکات مورد توجه در این پایان نامه، بررسی امکان ارتقاء سرعت پردازش در شبکه های تمام نوری است. در حال حاضر سرعتهای گزارش شده برای ادوات مختلف تا حدود چند صد گیگابیت بر ثانیه بوده است. با توجه به هدف اصلی این رساله که استفاده از QD-SOA به عنوان عنصر پایه واحد پردازش است، ارتقا سرعت عملکرد ادوات مبتنی بر QD-SOA ها یکی از اهداف پایه خواهد بود. بیشترین سرعت گزارش شده برای عملکرد QD-SOA ها تا سال 2010 مربوط به گروه کاری N. K. Dutta و 250 Gb/s بوده اســـت. با در نظر گرفتن افزایش ترافیک شبکه های مخابراتی و نیاز روز افزون به افزایش پهنای باند، نیاز به بررسی روشهای افزایش سرعت عملکرد QD-SOA ها کاملا محسوس است.

قابل ذکر است که محدودیت سرعت عملکرد شبکه های تمام نوری در طرح های ارائه شده تا حال حاضر، مربوط به واحد پردازش بوده است و قسمتهای انتقال اطلاعات قابلیت انتقال تا سرعتهای چند Tb/s را دارا هستند.

صرفنظر از مشکلاتی که بدلیل عدم وجود حافظه های نوری (RAM نوری) قابل پیش بینی است، پیاده سازی تمامی قسمتهای دیگر یک واحد پردازش با استفاده از QD-SOA ها، یکی از نکات مهم در این تحقیق اســـت. باتوجه به این که نقاط کوانتومی جزو آخرین دستاوردهای حوزه ی نانوفناوری در راستای کاهش ابعاد و افزایش کارایی ادوات مبتنی بر آنها هستند، امکان بهبود سرعت عملکرد QD-SOA ها یکی دیگر از چالش های مهم این تحقیق است.

فصل اول:

پیشینه تحقیق و بررسی منابع مورد مطالعه

1-1- مقدمه

پردازش سیگنال، بصورت تمام نوری، معمولاً با استفاده از آثار غیر خطی در یک قطعه تحت شرایط معین صورت می گیرد. بطور کلی آثار غیر خطی می توانند در اکثر مواد دی الکتریک رخ دهد. به هر حال در عمل، برای سیستم های پردازشی تمام نوری در شبکه های مخابراتی، اثرهای غیر خطی بیشتر بر اساس فیبر نوری، مواد نیمه هادی چون InGaAsP یا GaAs و بلور های جامدی چون$LiNbO_3$ هستند. قطعه های مبتنی بر فیبر نوری چندین مزیت منحصر به فرد دارند:

- قطعه های مبتنی بر فیبر نوری به راحتی به خطوط انتقال الحاق شده و تلفات الحاقی[1] را کاهش می دهند.
- اثرهای غیر خطی در مقیاس زمانی حدود 10 فمتوثانیه رخ می دهد، که توانایی پردازش سیگنال خیلی سریع تر از 1 Tb/s را بوجود می آورد.
- در نتیجه طبیعت غیرفعال[2] این قطعه ها، هیچ نویزی در پردازش به سیگنال اضافه نمی شود.

اما با این حال، برای بوجود آوردن اثرهای غیر خطی در قطعه های مبتنی بر فیبر نوری به طول زیادی از فیبر احتیاج داریم. علاوه بر این، به خاطر ضریب غیر خطیِ کوچک این قطعه ها، توان نوری ورودی (معمولا بیشتر از 20dBm) برای کاربردهای عملی در سیستم های پردازشی تمام نوری با نرخ بیت بالا، خیلی زیاد است. بنابراین بدلیل حجم، هزینه و مصرف توان بالا در این قطعه ها، برای پردازش به گزینه های دیگری هم نیازمندیم.

بدلیل مطلوب بودن اثر غیرخطی مرتبه دوم در ماده ی $LiNbO_3$ می توان از این ماده برای تحقق بخشیدن به مبدل های طول موج و دروازه های منطقی و ... استفاده کرد. البته برای بهبود بخشیدن به شرط تطبیق فاز و متعاقبا افزایش اثرهای غیر خطی، این بلور به PPLN[3] هم توسعه داده شده است. از ویژگی های این بلور می توان به نویز کم، راندمان بالا و مبدل طول موجی قابل تنظیم [6] اشاره کرد. اما با این وجود، این بلور چند اشکال مهم مانند دشواری در ساخت، وابستگی به قطبش نور[4]، توان مورد نیاز بالا و پهنای باند باریک دارد.

1-2- پردازش سیگنال تمام نوری مبتنی بر تقویت کننده نوری نیمه هادی (SOA)

نیمه هادیها برای پردازش سیگنال تمام نوری بطور وسیعی مورد توجه قرار دارند. از اینرو، تحقیقات زیادی بر روی کاربرد این مواد در لیزر ها و تقویت کننده نوری نیمه هادی (SOA) صورت گرفته است. SOA ها پتانسیل زیادی برای کاربرد در پردازش سیگنال تمام نوری را دارا هستند بطوریکه امروزه تقریباً در تمام ساختار های پردازش نوری به عنوان یک قطعه موثر بکار برده می شوند. این قطعه از ویژگی های برجسته ای برخوردار است:

[1] coupling losses
[2] passive
[3] Periodically poled $LiNbO_3$
[4] polarisation