

به نام خدا



دانشکده مهندسی فناوریهای نوین

گروه مهندسی فتونیک

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی فتونیک – نانو فتونیک

عنوان

تحلیل پایداری تقویت کننده های نوری نیمه هادی مبتنی بر نقاط کوانتومی

استادان راهنما

دکتر علی رستمی

دکتر سعید گل محمدی

استادان مشاور

دکتر حسن رسولی

دکتر سهیل گنجه فر

پژوهشگر

امین رنجبران

بهمن ۱۳۸۹

|   |  |
|---|--|
| نام خانوادگی دانشجو: رنجبران  | نام: امین  |
| عنوان پایان نامه : تحلیل پایداری تقویت کننده های نوری نیمه هادی مبتنی بر نقاط کوانتومی  |  |
| <p>استادان راهنما : علی رستمی<br/>سعید گل محمدی</p> <p>استادان مشاور : حسن رسولی<br/>سهیل گنجه فر</p>   |  |
| مقطع تحصیلی : کارشناسی ارشد<br>دانشگاه : تبریز<br>دانشکده : مهندسی فناوریهای نوین   | <p>رشته : مهندسی فوتونیک</p> <p>گرایش : نانو فوتونیک</p> <p>تاریخ فارغ التحصیلی : ۸۹/۱۱/۱۱</p> <p>تعداد صفحه : ۱۱۸</p> |
| کلید واژه : تقویت کننده ی نوری نیمه هادی ، فیدبک حالت ، فیدبک خروجی نوری ، تحلیل پایداری ، مشخصات دینامیک و اشباع.  |  |
| <p>چکیده :</p> <p>انتقال از سوئیچینگ الکتریکی به نوری در شبکه های مخابراتی مطلوب است و تقویت کننده های نوری نیمه هادی (SOA) در این انتقال نقش مهمی را می توانند ایفا کنند. از مزایای SOA می توان به راندمان توان بالا و ابعاد بسیار کوچک آن که امکان مجتمع شدن آن با دیگر وسایل فوتونیک را دارد اشاره کرد. از معایب این وسیله می توان به نویز پذیری نسبتا زیاد و زمان بازیابی کند حامل های آن اشاره کرد که باعث محدودیت در ماکزیمم نرخ بیت ارسالی و ایجاد اثر الگو (pattern effect) می شود. با استفاده از SOA های مبتنی بر نقاط کوانتومی (QD) این محدودیت به حداقل خواهد رسید.</p> <p>در این پایان نامه ابتدا به بررسی مشخصات دینامیکی و اشباع تقویت کننده ی نوری نیمه هادی می پردازیم و روش ثنوری کنترل را برای کنترل و بهینه سازی یک سیستم، در فصل اول تشریح می کنیم. در فصل دوم، برای نخستین بار ساختاری ارائه می شود که مشخصات دینامیکی و اشباع تقویت کننده ی نوری نیمه هادی را تا حد زیادی بهبود می بخشد. بطوریکه با استفاده از این ساختار در Bulk-SOA زمان بازیابی گینی در حد زمان بازیابی گین QD-SOA بدست آورده ایم و زمان بازیابی گین QD-SOA هم بسیار کاهش یافته است. با استفاده از این</p> |  |

ساختار می توان به نرخ بیت پردازی بسیار بالا دست یافت. همچنین در این فصل اثبات می شود که با دورتر شدن قطب تقویت کننده از مبدا مختصات، زمان بازیابی گین این تقویت کننده ها نیز بهبود می یابد.

**تقدیم به پدر**

**و مادر مهربانم**

## فهرست مطالب

| صفحه                             | عنوان   |
|----------------------------------|---|
| ۴                                | لیست شکل ها   |
| ۱۰                               | پیشگفتار  |
| ۱۰                               | I. مخابرات نوری   |
| ۱۱                               | II. نقش تقویت کننده ی نوری نیمه رسانا در مخابرات نوری     |
| ۱۳                               | III. کنترل مدارات مجتمع نوری                              |
| ..... فصل اول : بررسی منابع..... |   |
| ۱۷                               | ۱-۱-مقدمه   |
| ۱۷                               | ۱-۲-تقویت کننده ی نوری نیمه رسانا                         |
| ۲۲                               | ۱-۲-۱-مدل سازی Bulk-SOA                                   |
| ۲۳                               | ۱-۲-۱-۱-معادله انتشار موج میدان نوری درون SOA             |
| ۲۵                               | ۱-۲-۱-۲-معادله نرخ Bulk-SOA                               |
| ۳۵                               | ۱-۲-۲-تقویت کننده ی نوری نیمه رسانا چاه کوانتومی (QW-SOA) |
| ۳۶                               | ۱-۲-۳-تقویت کننده ی نوری نیمه رسانا نقطه کوانتومی QD-SOA  |
| ۴۰                               | ۱-۲-۳-۱-معادلات نرخ QD-SOA                                |
| ۴۲                               | ۱-۲-۴-مقایسه تقویت کننده های نیمه رسانا Bulk, QW, QD      |
| ۴۸                               | ۱-۳-۱-تحقق فضای حالت                                      |
| ۴۸                               | ۱-۳-۲-خطی سازی مدل فضای حالت                              |
| ۵۰                               | ۱-۳-۳-حل مدل فضای حالت                                    |
| ۵۰                               | ۱-۳-۴-کنترلر پذیری، مشاهده پذیری و پایداری                |
| ۵۱                               | ۱-۳-۵-فیدبک حالت  |

|    |   |
|----|---|
| ۵۲ | ۱-۳-۶-فیدبک خروجی   |
|    | فصل دوم: مواد و روش ها.....                                 |
| ۵۵ | ۱-۲:مقدمه   |
| ۵۵ | ۲-۲- مدل فضای حالت غیر خطی Bulk-SOA                         |
| ۵۷ | ۲-۳-۱- حوزه ی الکتریکی                                      |
| ۵۷ | ۲-۳-۲- حوزه ی نوری  |
| ۵۸ | ۲-۴- تعریف فضای حالت  |
| ۵۸ | ۲-۵- بدست آوردن مدل فضای حالت خطی شده و قطب Bulk-SOA        |
| ۵۹ | ۲-۶- رابطه بین زمان بازیابی بهره با تغییر مکان قطب Bulk-SOA |
| ۶۲ | ۲-۷- اعمال فیدبک بروی Bulk-SOA                              |
| ۶۳ | ۲-۸- بررسی زمان بازیابی بهره                                |
| ۶۶ | ۲-۹- بررسی اثر الگو   |
| ۶۹ | ۲-۱۰- بررسی چرپ فرکانسی                                     |
| ۷۰ | ۲-۱۱- بررسی توان اشباع خروجی                                |
| ۷۱ | ۲-۱۲- بررسی هم شنوایی بین کانالی                            |
| ۷۲ | ۲-۱۲-۱- فیدبک حالت  |
| ۷۵ | ۲-۱۲-۲- فیدبک خروجی   |
| ۷۹ | ۲-۱۳- بهبود مشخصات QD-SOA با استفاده از فیدبک               |
| ۸۱ | ۲-۱۴: تعریف فضای حالت برای QD-SOA                           |
| ۸۱ | ۲-۱۵- بدست آوردن قطب در QD-SOA                              |
| ۸۲ | ۲-۱۶- بررسی زمان بازیابی بهره                               |
| ۸۳ | ۲-۱۷- بررسی اثر الگو  |
| ۸۴ | ۲-۱۸- بررسی چرپ فرکانسی                                     |
| ۸۵ | ۲-۱۹- بررسی توان اشباع خروجی                                |

|     |  |
|-----|--|
| ۸۶  | ۲-۲۰- بررسی هم شنوایی بین کانالی         |
| ۸۶  | ۲-۲۰-۱- اعمال فیدبک حالت بر QD-SOA       |
| ۸۷  | ۲-۲۰-۱-۱- قطری سازی معادلات حالت و خروجی |
| ۹۲  | ۲-۲۰-۲- اعمال فیدبک خروجی بر QD-SOA      |
| ۹۸  | فصل سوم : نتیجه گیری و پیشنهادات         |
| ۱۰۱ | مراجع                                    |



## لیست شکل ها

- شکل ۱: پروسه ی تئوری کنترل که برای مدلینگ، کنترل و بهینه سازی سیستم های فیزیکی استفاده می شود. ۱۴
- شکل ۱-۱: بسته کامل SOA. ۱۷
- شکل ۱-۲: ساختار باند انرژی یک نیمه رسانا باند گپ مستقیم. ۱۸
- شکل ۱-۳: ترکیب لایه های پوششی و ناحیه ی فعال، دیاگرام انرژی لایه های پوششی و ناحیه فعال، ضریب شکست لایه های پوششی و ناحیه ی فعال و چگالی نور در ناحیه فعال. ۱۹
- شکل ۱-۴: فرایندهای نشر تحریک شده و خود به خودی و جذب تحریک شده در یک سیستم دو تراز. ۲۰
- شکل ۱-۵: شماتیک تقویت کننده ی نوری نیمه رسانا Bulk. ۲۲
- شکل ۱-۶: دینامیک حامل ها و تغییرات فاز محاسبه شده برای پالس ورودی با پهنای ۱۰ ps. ۳۰
- شکل ۱-۷: شکل پالس خروجی برای به ازای بهره های  $G_0$  مختلف با ورودی گوسین با انرژی  $E_{in} / E_s = 0.1$ . ۳۲
- شکل ۱-۸: طیف پالس خروجی مطابق با شکل موج های شکل ۱-۷. ۳۴
- شکل ۱-۹: (a) ساختار دیاگرام باند انرژی تک چاه کوانتومی (b) ساختار دیاگرام باند انرژی چند چاه کوانتومی. ۳۶
- شکل ۱-۱۰: (a) تصویر SEM از QD های InAs رشد یافته روی GaAs. (b) تصویر TEM از یک InAs QD. ۳۷
- شکل ۱-۱۱: (a) ساختار QD-SOA و (b) دیاگرام باند انرژی در حالت بایاس مستقیم یک QD-SOA. ۳۹

- شکل ۱۲-۱: چگالی حالت ها به ازای حالت های انرژی برای تقویت کننده با ماده Bulk (a) و QW(b) و QD(c).
- ۴۲
- شکل ۱۳-۱: زمان بازیابی بهره برای تقویت کننده ی Bulk و QD.
- ۴۳
- شکل ۱۴-۱: منحنی اشباع بهره برای انواع مختلف تقویت کننده ها.
- ۴۴
- شکل ۱۵-۱: توان اشباع خروجی در برابر چگالی جریان برای انواع مختلف تقویت کننده
- ۴۵
- شکل ۱۶-۱: توان اشباع ۳dB انواع تقویت کننده ها در برابر طول تقویت کننده.
- ۴۶
- شکل ۱۷-۱: بهره سیگنال کوچک انواع تقویت کننده ها در برابر طول تقویت کننده.
- ۴۷
- شکل ۱-۲: مدل کنترلی ورودی-خروجی یک Bulk-SOA.
- ۵۷
- شکل ۲-۲: توان ورودی نوری اعمال شده به Bulk-SOA برای محاسبه ی زمان بازیابی بهره.
- ۵۹
- شکل ۳-۲: تغییرات زمان بازیابی بهره برحسب تغییر مکان قطب Bulk-SOA.
- ۶۱
- شکل ۴-۲: ساختار ارائه شده برای بهبود مشخصات عملکرد SOA بر مبنای فیدبک خروجی نوری.
- ۶۳
- شکل ۵-۲: پالس نوری اعمالی به Bulk-SOA جهت بدست آوردن زمان بازیابی بهره.
- ۶۳
- شکل ۶-۲: دینامیک بهره در اثر اعمال سه جریان مختلف به Bulk-SOA.
- ۶۴
- شکل ۷-۲: دینامیک بهره Bulk-SOA با سه مقدار متفاوت توان CW کانال کنترلی  
 $P_{cw} = 1\mu W, 1mW, 10mW$ .
- ۶۵
- شکل ۸-۲: دینامیک بهره Bulk-SOA با بکار بردن فیدبک خروجی نوری با  $P_{cw} = 1\mu W$  و  $K = .1, .2, .4$  و همچنین پالس کنترلی اعمالی به SOA در اثر اعمال فیدبک خروجی نوری.
- ۶۶
- شکل ۹-۲: قسمت بالا چگالی حامل ها و قسمت پایین توان خروجی نوری در اثر اعمال یک رشته پالس مربعی با دوره تناوب 2 ps در حالت اول.
- ۶۷
- شکل ۱۰-۲: قسمت بالا چگالی حامل ها و قسمت پایین توان خروجی نوری در اثر اعمال یک رشته پالس مربعی با دوره تناوب 2 ps در حالت دوم.
- ۶۷

شکل ۱-۲: قسمت بالا چگالی حامل ها و قسمت پایین توان خروجی نوری در اثر اعمال یک رشته پالس مربعی با دوره تناوب 2 ps در حالت سوم.

۶۸

شکل ۲-۱۲: پالس کنترلی ایجاد شده در اثر اعمال فیذبک خروجی نوری و با اعمال یک رشته پالس نوری ورودی با دوره تناوب  $T=2$  ps.

۶۹

شکل ۲-۱۳: چرپ فرکانسی خروجی Bulk-SOA برای ورودی گوسین با ماکزیمم شدت توان 5 mW و  $FWHM=10$  ps در سه حالت مختلف.

۷۰

شکل ۲-۱۴: منحنی بهره اشباع برای سه حالت مختلف حلقه باز، با اعمال ورودی CW و با اعمال فیذبک خروجی نوری در جریان ورودی 75 mA.

۷۱

شکل ۲-۱۵: (a) تغییرات جریان کنترلی اعمالی به SOA در حالت اعمال فیذبک حالت در دو حالت  $S'=100A$  و  $S'=10A$  (b) توان ورودی نوری اعمالی به SOA در هر سه کانال (c) چگالی حامل ها در سه حالت مختلف حلقه باز، با اعمال فیذبک حالت با  $S'=100A$  و  $S'=10A$  (d) توان خروجی نوری در سه کانال.

۷۵

شکل ۲-۱۶: (a) تغییرات توان کنترلی اعمالی به SOA در حالت اعمال فیذبک خروجی (b) توان ورودی نوری اعمالی به SOA در هر سه کانال (c) چگالی حامل ها در حالت حلقه باز و فیذبک خروجی نوری (d) توان خروجی نوری در سه کانال.

۷۸

شکل ۲-۱۷: دینامیک بهره QD-SOA در دو حالت حلقه باز و اعمال فیذبک خروجی نوری.

۸۲

شکل ۲-۱۸: احتمال اشغال حالت های الکترونی در GS و توان نوری خروجی با اعمال پالس مربعی با دوره تناوب 2 ps در حالت حلقه باز.

۸۳

شکل ۲-۱۹: احتمال اشغال حالت های الکترونی در GS و توان نوری خروجی با اعمال پالس مربعی با دوره تناوب 2 ps در حالت اعمال فیذبک خروجی نوری.

۸۴

شکل ۲-۲۰: چرپ فرکانسی خروجی QD-SOA برای ورودی گوسین در دو حالت حلقه باز و فیذبک خروجی نوری با  $P_{cw}=100 \mu W$  و  $k=0.7$ .

۸۵

شکل ۲-۲۱: مشخصات اشباع بهره QD-SOA در دو حالت حلقه باز و با اعمال فیدبک خروجی نوری (ساختار شکل ۲-۴) با  $k=0.7$  و  $P_{cw}=100 \mu w$ .  
۸۶

شکل ۲-۲۲: (a) توان ورودی نوری در سه کانال (b) توان خروجی نوری در سه کانال در سه حالت حلقه باز ، با اعمال فیدبک حالت با  $S'=10A$  و  $S'=100A$  (c) جریان کنترلی اعمالی بر اثر فیدبک حالت در دو حالت  $S'=10A$  و  $S'=100A$  (d) احتمال اشغال حالت الکترونی GS در سه حالت حلقه باز ، با اعمال فیدبک حالت با  $S'=10A$  و  $S'=100A$  .  
۹۱

شکل ۲-۲۳: (a) توان ورودی نوری در سه کانال (b) توان نوری کنترلی اعمالی به QD-SOA در اثر فیدبک خروجی (c) توان خروجی نوری در سه کانال در دو حالت حلقه باز و با اعمال فیدبک خروجی (d) احتمال اشغال حالت الکترونی GS در دو حالت حلقه باز و با اعمال فیدبک خروجی نوری.  
۹۵

# پیشگفتار

## الف - مخابرات نوری

در دهه اخیر شاهد معرفی فناوری‌های مختلفی در عرصه مخابرات نوری بوده‌ایم که توانسته اند به صورت چشم‌گیری ظرفیت شبکه‌های مخابرات نوری را افزایش دهند، هم‌تافت تقسیم طول موج (<sup>۱</sup>WDM)، تقویت کننده‌ی فیبری آلانید به اربوم و تقویت کننده‌ی فیبری مبتنی بر پدیده رامان، نمونه‌هایی از این فناوری‌های جدید هستند. این فناوری‌ها باعث ایجاد پیشرفت‌های وسیع در ارتباطات شده‌اند. به عنوان مثال، می‌توان فناوری‌هایی مانند سیستم های Email، ارتباطات صوتی (شامل خطوط ثابت و بی‌سیم)، کنفرانس های ویدیویی، ارتباط متنی و تصویری آنلاین بین دو کاربر و بازی آنلاین بین دو کاربر را نام برد.

با چنین پیشرفت‌هایی در ارتباطات نیاز مبرم به ظرفیت بالای شبکه‌های ارتباطی به خوبی احساس می‌شود. مطالعات نشان می‌دهد که هر هشت الی دوازده ماه ترافیک اینترنت دو برابر می‌شود [۱] البته در حال حاضر سیستم‌هایی با نرخ داده ۴ Gb/s به ازای هر طول موج به صورت تجاری وجود دارد. برای برآورده کردن این تقاضای پهنای باند، محققان به صورت مستمر در حال رفع محدودیت‌های انتقال هستند که نتیجه‌ی این تلاش‌ها در انتقال ۲.۵۶ Gb/s به ازای طول موج [۲] و ۱۴ Gb/s در یک لینک DWDM نشان داده شده است [۳]. به هر حال یک شبکه‌ی ارتباطی اساساً از دو قسمت عمده انتقال و سوئیچینگ تشکیل می‌شود [۴]. انتقال بیت‌های داده از مبدا به مقصد نهایی از طریق کانال‌های انتقال و بواسطه‌ی گره شبکه‌ی واسط صورت می‌گیرد. در این گره‌ها برای پیدا کردن مسیر بیت‌ها برای رسیدن به مقصد سوئیچینگ صورت می‌گیرد. سوئیچینگ این بیت‌ها می‌تواند در دو حوزه الکتریکی و نوری صورت گیرد. سوئیچینگ در حوزه الکترونیک از الگوریتم‌های پیچیده‌ی مبتنی بر اطلاعات شبکه استفاده می‌کند و به حدی پیشرفت کرده است که می‌توان به جرأت گفت که فناوری در این زمینه به حد بلوغ خود رسیده است. ترکیب انتقال نوری و سوئیچینگ الکتریکی در شبکه‌های تجاری موجود مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما به هر حال سوئیچینگ الکترونیکی به‌هنگام استفاده از فناوری انتقال نوری به دلیل محدودیت سرعت پردازش الکترونیکی نرخ انتقال داده‌ها را تحت تأثیر قرار خواهد داد. محدودیت سرعت سوئیچینگ الکترونیکی زمانی بیشتر خود را نشان خواهد داد که هم‌زمان تعداد کانال‌های طول موجی زیادی (شبکه‌های DWDM) در یک فیبر نوری وجود داشته باشد. زیرا تعداد زیادی از گیرنده‌های نوری، مدولاتورها و لیزرها در هر گره مورد نیاز خواهد بود در نتیجه شبکه بسیار پر هزینه خواهد شد. برای فائق آمدن به مشکل فوق، سوئیچینگ نوری می‌تواند راه حل مناسبی باشد. از مزایای سوئیچینگ

---

<sup>1</sup> Wavelength division multiplexing

نوری می توان به امکان مجتمع سازی، نرخ بالای داده در حوزه ی نور، حذف معماری مسیریابی ذخیره و ارسال، مصرف توان کم، اشغال فضای کمتر و نهایتاً کاهش هزینه ها را اشاره کرد [۵].

### ب- نقش تقویت کننده ی نوری نیمه رسانا در مخابرات نوری

پردازش سیگنال، به صورت تمام نوری، معمولاً با استفاده از آثار غیر خطی در یک افزاره تحت شرایط معین صورت می گیرد. به طور کلی آثار غیر خطی می توانند در اکثر مواد دی الکتریک رخ دهد. در عمل برای سیستم های پردازش تمام نوری در شبکه های ارتباطی آثار غیرخطی بیشتر در فیبرهای نوری و یا محیط های فعال دارای مواد نیمه رسانا همانند InGaAsP یا GaAs و کریستال های جامدی چون لیتیم-نایوبیت ( $\text{LiNbO}_3$ ) رخ می دهند.

افزاره های مبتنی بر فیبر نوری چندین مزیت منحصر به فرد دارند: اولاً، این افزاره ها به راحتی به خطوط انتقال تزویج می شوند و تلفات تزویج را کاهش می دهند. دوماً، آثار غیر خطی در این افزاره ها در مقیاس زمانی ۱۰ فمتو ثانیه رخ می دهد که امکان پردازش سیگنال خیلی سریع تر از ۱ Tb/s را بوجود می آورد. سوماً، چون این این افزاره ها غیر فعال هستند، هیچ نویزی در طی پردازش به سیگنال اضافه نمی شود. برای بوجود آوردن آثار غیرخطی در افزاره های مبتنی بر فیبر نوری به طول زیادی از فیبر نیاز است. علاوه بر این، به خاطر کم بودن ضریب غیر خطی این افزاره ها، توان نوری ورودی (معمولاً بیشتر از ۲۰ dBm) برای کاربردهای عملی در سیستم های پردازشی تمام نوری با نرخ بیت بالا نیاز است. پس به دلیل حجم، هزینه و مصرف توان بالا در این ادوات باید برای پردازش تمام نوری از گزینه های دیگری استفاده کنیم.

می توان به دلیل بالا بودن ضریب غیرخطی مرتبه دوم ماده ی  $\text{LiNbO}_3$ ، از آن برای پردازش تمام نوری استفاده کرد. از مزایای این ماده می توان به بازه کامل شفافیت، نویز کم، راندمان بالا و استفاده به عنوان مبدل طول موج قابل تنظیم [۶] اشاره کرد. اما با این وجود، این ماده عیب هایی مانند دشواری ساخت، وابستگی به قطبش، توان مورد نیاز بالا و پهنای باند باریک دارد.

مواد نیمه رسانا برای پردازش سیگنال تمام نوری بطور وسیعی مورد توجه قرار دارند. از این رو، تحقیقات زیادی بر روی کاربرد این مواد در لیزر ها و تقویت کننده های نوری نیمه رسانا ( $\text{SOA}^1$ ) صورت گرفته است. طی چند دهه ی گذشته پیشرفت های زیادی در زمینه کاربرد SOA در مخابرات نوری و پردازش سیگنال با استفاده از SOA صورت گرفته است. SOA در دو رژیم خطی و غیر

---

<sup>1</sup> Semiconductor Optical Amplifier

خطی کار می‌کند. در رژیم خطی این وسیله برای تقویت نور ورودی و در رژیم غیر خطی برای پردازش نوری استفاده می‌شود. SOA ها پتانسیل زیادی برای کاربرد در پردازش سیگنال تمام نوری دارند. به طوری که امروزه تقریباً در تمام ساختارهای پردازش نوری به عنوان یک افزاره مؤثر به کار می‌روند. این وسیله مزایای برجسته‌ای دارد: اولاً، به علت بهره بالا و آثار غیر خطی قوی، توان نوری سیگنال ورودی می‌تواند خیلی کم باشد که در نتیجه منجر به راندمان توان بالا می‌شود دوماً، ابعاد وسیله (در مقایسه با وسایل مبتنی بر مواد دیگر) بسیار کوچک است به گونه‌ای که این افزاره پتانسیل مجتمع شدن با دیگر افزاره‌های فوتونیک را دارد. از ایرادات این وسیله نیز می‌توان به نویز بیشتر نسبت به فیبر نوری و زمان بازیابی کند حامل‌های آن اشاره کرد که باعث محدودیت در نرخ بیت پیشینه می‌شود. در نتیجه یکی از چالش‌های مهم در زمینه پردازش سیگنال با SOA مقابله با محدودیت زمان بازیابی برای دست یافتن به نرخ بیت بالا است که در طی چند سال گذشته برای رفع نسبی این مشکلات استفاده از SOA های مبتنی بر چاه‌های کوانتمی<sup>۱</sup> و SOA های مبتنی بر نقاط کوانتمی<sup>۲</sup> پیشنهاد شده است.

نقطه‌های کوانتمی کریستال‌های نانومتری هستند که از مواد نیمه‌رسانا مختلف ساخته می‌شوند. یک QD می‌تواند از یک الکترون تا هزاران الکترون را در خود جای دهد. به دلیل محدودیت‌های شدیدی که برای حرکت الکترون‌ها و حفره‌های محبوس در نقاط کوانتمی در فضای سه بعدی وجود دارد نقاط کوانتمی رفتاری مشابه اتم‌های مجزا دارند. استفاده از ساختارهای نیمه‌رسانا در ابعاد نانو در ناحیه فعال تقویت کننده‌های نوری نیمه‌رسانا می‌تواند کارایی این ادوات را افزایش دهد. از جمله این قابلیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

به دلیل چگالی حالات گسسته این نانوکریستال‌ها طیف جذبی و گسیل آن‌ها گسسته می‌باشد. زمان بازیابی بهره در این کریستال‌ها بسیار کمتر از زمان بازیابی بهره در ادواتی است که در ناحیه فعال آن‌ها از نیمه‌رسانا کُپه‌ای یا ساختارهای چاه کوانتمی استفاده شده‌است. به همین دلیل برای کاربردهای با نرخ بیت بالا عمل‌کرد بهتری دارند. نقطه‌های کوانتمی به دلیل چگالی حالات گسسته-ای که دارند برای تحقق وارونگی جمعیت نیاز به تزریق جریان کمتری دارند از این‌رو جریان آستانه آن‌ها بسیار کمتر از SOA های کُپه‌ای است. حساسیت به دما در ادوات ساخته شده با نقاط کوانتمی بسیار کمتر از ادواتی است که با ساختار چاه‌های کوانتمی ساخته می‌شود.

---

<sup>1</sup> QW-SOA

<sup>2</sup> QD-SOA



از مهم‌ترین چالش‌هایی که در مسیر تحقق مدارات مجتمع تمام نوری مبتنی بر SOA وجود دارد، وجود تداخل یا هم‌شنوایی<sup>۱</sup> بین طول موج‌های مختلف (کانال‌های مختلف) می‌باشد. این تداخل از آنجا ناشی می‌شود که با ورود یک پالس با طول موج مشخص (مربوط به یکی از کانال‌ها) وارونگی جمعیت حامل‌ها کاهش می‌یابد و این باعث کاهش بهره تقویت کننده برای کانال‌های مجاور و حتی همان کانال خواهد شد. کاهش بهره در کانال مجاور را هم‌شنوایی بین کانالی می‌نامند. کاهش بهره در همان کانال اثر الگو نام‌گذاری شده است. فرآیند بازیابی بهره در یک QD-SOA وابسته به زمان گذار از  $WL^2$  به  $ES^3$  می‌باشد. در یک QD-SOA زمان بازیابی در حدود  $140\text{fs}$  می‌باشد. که سریعترین فرایند بازیابی است که تاکنون گزارش شده است. این زمان بازیابی بسیار کم نشان می‌دهد که از QD-SOA برای نرخ بیت‌های بیش از  $1\text{ Tb/s}$  استفاده کرد. زمان بازیابی متوسط، مدت زمانی است که طول می‌کشد تا یک حامل از تراز ES به تراز پایه  $GS^4$  انتقال یابد.

نرخ بیت در سیستم‌های پردازش مبتنی بر SOA به مرور زمان افزایش یافته است. مدولاسیون فاز متقابل<sup>۵</sup> و مدولاسیون بهره متقابل<sup>۶</sup>، مبدل طول موجی تمام نوری با یک SOA در نرخ بیت  $\text{Gb/s}$   $320$  حاصل شده است [۷].

### ج- کنترل مدارات مجتمع نوری

هر اندازه که مدارات فوتونیک پیچیده‌تر می‌شوند، تنظیم رفتار آن‌ها هم پیچیده‌تر می‌شود، بنابراین از ابزارهای کارآمدتری برای تنظیم رفتار و کنترل مدارات الکترونیک نوری باید استفاده کنیم. تئوری کنترل برای حل مسائل تنظیم و طراحی مناسب است زیرا تئوری کنترل ورودی‌های مورد نیاز سیستم برای تولید خروجی‌های مطلوب را تعیین می‌کند. همان‌طوری که در شکل الف نشان داده شده است، معادلات فیزیکی اجزای مدارات فوتونیک چارچوب کاری را برای تئوری کنترل ایجاد می‌کند که این چارچوب می‌تواند راه‌حل‌هایی را برای کنترل و بهینه‌سازی اجزای مدارات فوتونیک ایجاد کند.

<sup>1</sup> Cross-talk

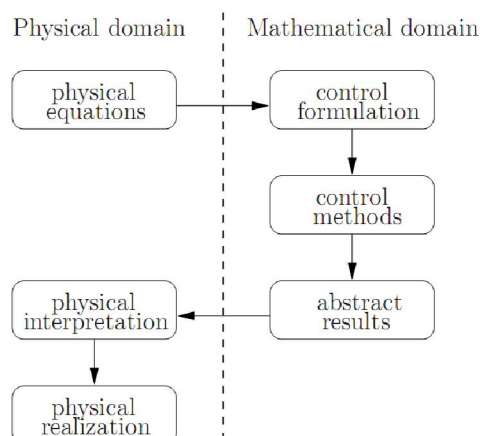
<sup>2</sup> Wetting Layer

<sup>3</sup> Excited State

<sup>4</sup> Ground State

<sup>5</sup> Cross Gain Modulation

<sup>6</sup> Cross phase Modulation



شکل الف-پروسهی تئوری کنترل برای مدل‌سازی، کنترل و بهینه‌سازی سیستم‌های فیزیکی

به‌منظور مدل کردن رفتار ورودی و خروجی یک سیستم، کاهش مدل وابسته به  $(z, t)$  به  $t$  مطلوب است [۸]. مدل ورودی-خروجی فضای حالت برای کنترل رفتار SOA می‌تواند مفید باشد [۹]. مدل فضای حالت برای ایجاد سیستم‌های خطی تغییر ناپذیر با زمان به سادگی خطی می‌شود تا ابزارهای طراحی و تحلیل را ایجاد کند [۱۰]. کنترل‌های طراحی شده می‌تواند برای تنظیم خروجی یک SOA یا مدارات فوتونیک پیچیده استفاده شود.

مدل فضای حالت شامل یک مجموعه از معادلات دیفرانسیل مرتبه اول است. شبیه‌سازی چنین سیستمی قابل مقایسه با مدل افزاره محدود می‌باشد [۱۱]. در چنین سیستمی قبل از هر گونه شبیه‌سازی یا آزمایش مقادیر ویژه به سادگی محاسبه شده و عمل کرد و پایداری سیستم نشان داده می‌شود و کنترلر مورد نیاز طراحی می‌شود.

در این پایان نامه از مدل فضای حالت برای آنالیز و طراحی SOA کپه‌ای و QD-SOA تطبیق پذیر استفاده می‌کنیم. برای این منظور ابتدا مدل دینامیکی فضای حالت مربوط به SOA کپه‌ای و QD-SOA که با دقت خوبی مدل فیزیکی این دو وسیله را تقریب می‌زند، ارائه خواهد شد. سپس این مدل‌ها خطی‌سازی شده و برای استفاده از روش‌های کنترل خطی در طراحی کنترل‌ها ارائه می‌شود. با استفاده از این مدل خطی شده پایداری و کنترل پذیری این دو قطعه‌ی الکترونیک نوری بررسی می‌شود با اعمال فیدبک خروجی و فیدبک حالت مشخصات دینامیکی و توان اشباع را در این دو نوع SOA بررسی خواهیم کرد.

در فصل اول ابتدا خواص نوری انواع تقویت کننده‌های نوری نیمه‌رسانا را بررسی می‌کنیم. سپس روش‌های کنترلی مختلف موجود برای کنترل و بهینه‌سازی خواص نوری تقویت کننده‌های نوری

نیمه‌رسانا را مطالعه می‌کنیم. در فصل دوم از فیدبک خروجی نوری و فیدبک حالت برای بهبود مشخصات عملکرد انواع تقویت کننده‌های نوری نیمه‌رسانا استفاده می‌کنیم و نتایج حاصل را با هم مقایسه خواهیم کرد. هم‌چنین برای اولین بار ساختاری عملی برای بهبود مشخصات و ویژگی‌های تقویت کننده‌های نوری نیمه‌رسانا کپه‌ای و نقطه کوانتومی ارائه می‌دهیم که بر اساس فیدبک خروجی نوری، مشخصات دینامیک و اشباع این وسایل را تا حد زیادی بهبود می‌بخشد.

# فصل اول

## بررسی منابع