طراحی و شبیه‌سازی گیت منطقی AND مبتنی بر تقویت کننده‌های نوری نیمه‌هادی نقطه کوانتومی

مسعود خمری[۱]، محمدعلی منصوری‌بیرجندی[۲] و علیرضا طاوسی[۳]

[۱]دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر (masoud.khammari@pgs.usb.ac.ir)
[۲]دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر (mansouri@ece.usb.ac.ir)
[۳]دانشگاه ولایت، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی برق (a.tavousi@velayat.ac.ir)

چکیده-در این مقاله به شبیه‌سازی گیت منطقی AND بر اساس تقویت کننده‌های نوری نیمه‌هادی پرداخته شده است. تقویت کننده‌های نیمه‌هادی نوری ویژگی‌های زیادی دارد، که از مهمترین آن‌ها می‌توان به بهره بالا ، ابعاد کوچک و قابلیت مجتمع سازی اشاره کرد. شبیه سازی تقویت کننده نیمه‌هادی نوری نقطه کوانتومی بر اساس حل معادلات رانگ-کوتا مرتبه چهار انجام گرفته شده است. در ادامه به شبیه سازی گیت AND پرداخته‌ایم و نتایج را برای طول موج ۱۲۸۰ نانومتر به دست آوردیم. نتیجه به این گونه بود که سیگنال خروجی دارای ضریب کیفیت ۲۵/۸ و توان ۱۳ میلی وات می‌باشد.

کلید واژه- نقطه کوانتومی، تقویت کننده نوری نیمه هادی، گیت منطقی، AND.

Design and Simulation of ANDLogicGate Based on QuantumDotSemiconductorOptical Amplifiers

Masoud Khammri[1], Mohammad Ali mansouri-Birjandi[2], Alireza Tavousi[3]

[1,2]Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
[3]Faculty of Engineering, Velayat University, Iranshahr, Iran

Abstract-This paper deals with the simulation of AND logic gate based on semiconductor optical amplifiers.Semiconductor optical amplifiers have many features,the most important of which are high efficiency ,small dimensions and integration capability. The quantum dot semiconductor optical amplifier simulation is performed based on solving the fourth-order Runge-Kutta equations in Matlab software. In the following, we simulate the AND logic gate in optisystem software at 1280 nm wavelength for which we find that the output signal has a quality factor of 25.8 and a power of 13mW.

Keywords: Quantum dot, semiconductor optical amplifier, logic gate, AND.

مقدمه

تقویت کننده‌های نیمه هادی نوری عناصر بسیار جذابی برای تحقق انواع توابع منطقی هستند[۱]. این تقویت کننده‌های غیرخطی می‌توانند تغییرات ضریب شکست بالا و بهره بالا را به صورت همزمان داشته باشد که این باعث افزایش نرخ بیت بدون تداخل می‌شود. رفتار غیرخطی تقویت کننده نیمه هادی نوری که به عنوان نقطه ضعف یک تقویت کننده در ناحیه خطی است، انتخاب خوبی برای کنترل کردن گیت‌های منطقی است. از اثرات غیر خطی تقویت کننده نیمه هادی نوری مانند XPM و XGM در طراحی گیت‌های منطقی استفاده می‌شود[۲].

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹

یک نمونه از تداخل سنج‌هایی که به طور وسیعی از آن برای ساخت گیت‌های منطقی استفاده می‌شود، تداخل سنج ماخ زندر(MZI) می‌باشد[۳-۴]. معمولا در طراحی گیت‌های منطقی، تقویت کننده‌ها درون تداخل سنج قرار می‌گیرند. بهترین عملکرد تداخل سنج هنگامی اتفاق می‌افتد که هر یک از تقویت کننده‌ها بر روی یک بازوی تداخل سنج قرار گیرند[۵].

شبیه سازی تقویت کننده نیمه هادی نوری

افزاره‌ی مورد استفاده ما یک تقویت کننده نوری نیمه هادی نقطه کوانتومی است که از نقاط کوانتومی InAs در ناحیه‌ی فعال آن استفاده شده است. یک لایه‌ی پوشاننده از جنس InGaAs روی هرکدام از لایه‌های نقاط کوانتومی رشد داده شده است. طول‌موج تراز پایه‌ی نقطه‌های کوانتومی نزدیک به 1.3 μm در این تقویت کننده نوری نیمه هادی استفاده شده است. تجزیه و تحلیل این تقویت کننده بر اساس حل همزمان معادلات نرخ برای احتمال اشغال الکترون در واحد حجم در لایه مرطوب با N_w و احتمال اشغال الکترون‌ها در لایه های پایه و تحریک به ترتیب با f و h نشان داده می‌شود. بنابراین معادلات نرخ برای لایه‌های پایه، تحریک و مرطوب را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\partial N_w}{\partial t}=\frac{J}{eL_\omega}-\frac{N_w(1-h)}{\tau_{w2}}+\frac{N_w h}{\tau_{2w}}-\frac{N_w}{\tau_{wR}} \quad (۱)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t}=\frac{N_w L_w(1-h)}{N_Q\tau_{w2}}-\frac{N_w L_w h}{N_Q\tau_{2w}}-\frac{(1-f)h}{\tau_{21}}+\frac{f(1-h)}{\tau_{12}} \quad (۲)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t}=\frac{h(1-f)}{\tau_{21}}-\frac{f(1-h)}{\tau_{12}}-\frac{f^2}{\tau_{1R}}-a(2f-1)S \quad (۳)$$

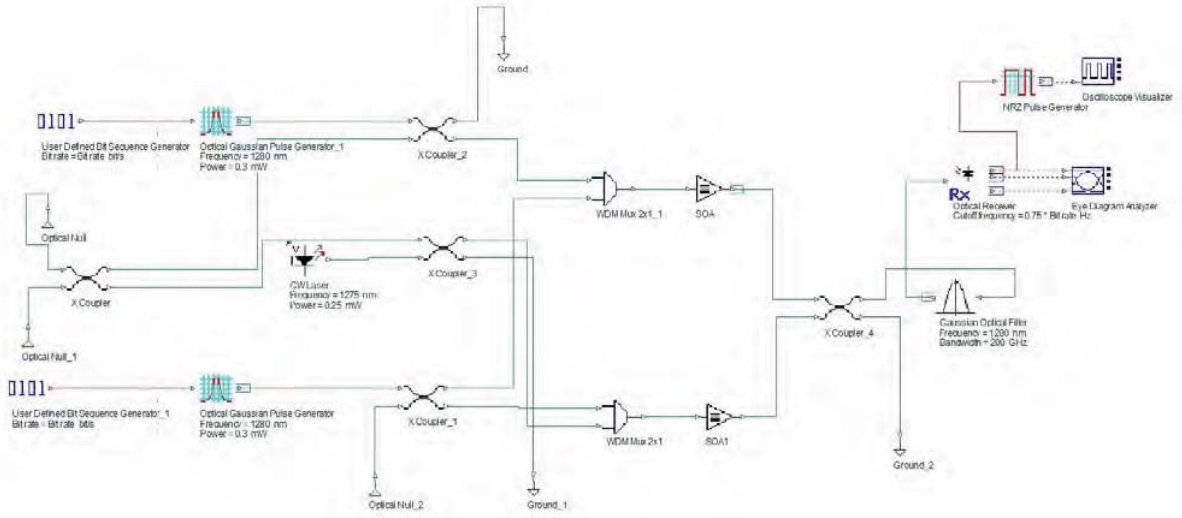
که در آن، J چگالی جریان بایاس، L_w ضخامت موثر لایه فعال است، N_Q چگالی نقطه کوانتوم‌ها در واحد سطح، τ_{wR} ، τ_{1R} به ترتیب طول عمر خود به خودی در لایه مرطوب و نقطه کوانتوم‌هاست. τ_{w2} و τ_{2w} به ترتیب زمان استراحت و زمان فرارحامل‌ها از لایه تحریک به لایه مرطوب می‌باشد. S نیز چگالی فوتون‌ها در ناحیه فعال است. زمان استراحت و فرار حامل‌ها از لایه تحریک به لایه پایه را τ_{21} و τ_{12} نشان می‌دهیم. c سرعت نور در فضای آزاد است، ε_r گذردهی نسبی لایه فعال است، e بار الکترون است، α_{int} ضریب جذب مواد تقویت کننده نوری نیمه هادی نقطه کوانتومی، و α ضریب افزایش پهنای خط است (LEF)[۶]. مقادیر پارامترهای شبیه سازی در جدول ۱ بیان شده است.با حل این معادلات می توان زمان بازیابی بهره و ترازهای انرژی، توان اشباع خروجی و خواص غیرخطی تقویت کننده‌های نوری نیمه هادی نقطه کوانتومی را به دست آورد.

طراحی و شبیه سازی گیت AND

در طراحی گیت منطقی AND ، ما نیاز به سیگنال ورودی باینری داریم که برای تولید این سیگنال‌ها از یک مولد پالس گوسی و یک مولد پالس باینری پشت سر هم استفاده می‌کنیم تا پالس مورد نظر ما را تولید کند. همچنین به عنوان یک ورودی به یک لیزر موج رونده(CW) نیاز داریم. که این سیگنال لیزر CW پس از عبوراز کوپلرها به دو سیگنال جداگانه تقسیم می‌شوند و هر یک از سیگنال‌ها به پایه دیگر مالتی پلکسرها متصل می‌شوند. در مرحله بعد سیگنال‌ها توسط مالتی پلکسر تقسیم طول موج انتخاب می‌شوند و به ورودی تقویت کننده ها که در هر بازوی تداخل سنج قرار دارد وارد می-شود. سپس خروجی تقویت کننده ها توسط کوپلر با هم ترکیب می‌شوند و سیگنال خروجی از یک فیلتر نوری گوسی عبور داده می‌شود و به قسمت گیرنده وارد می-شوند. سیگنال خروجی را به نمایشگر چشمی متصل می-

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.

کنیم تا بوسیله‌ی آن ضریب کیفیت سیگنال را کنترل کنیم. همچنین برای مشاهده سیگنال خروجی آن را به یک مولد NRZ متصل می‌کنیم و خروجی آن را به یک نمایشگر جهت نمایش خروجی متصل می‌کنیم. نمای کلی یک گیت AND در شکل۱ نمایش داده شده است.



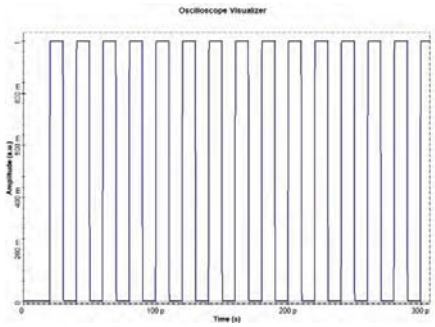
شکل ۱: نمای یک گیت AND با استفاده از تقویت کننده نوری نیمه هادی و تداخل سنج ماخ زندر.

طبق جدول درستی گیت ANDاگر سیگنال ورودی ۱ و ۲ یکسان نباشند (یعنی هر دو ۰ یا ۱منطقی نباشند) یا هر دو سیگنال ورودی ۰ باشند، SOA-MZI متعادل است و تقویت کننده‌ها تحت شرایط یکسانی هستند بنابراین تداخل مخرب دارند و به همین دلیل خروجی صفر می‌شود و در صورتی که سیگنال‌های ورودی ۱ و ۲ فقط ۱ باشند ضریب شکست یکی از تقویت کننده‌ها تغییر می‌کند در حالی که تقویت کننده دیگر بدون تغییر باقی می‌ماند و پالس CW مدوله می‌شود و به همین دلیل خروجی ۱ می‌شود، سیگنال‌های ورودی ۱ و ۲ در شکل ۲ و ۳ و سیگنال خروجی و نمودار چشمی آن در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.

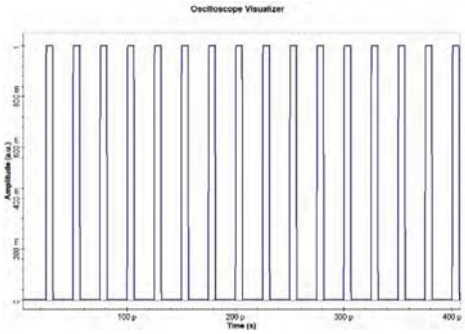
جدول ۱. پارامترهای شبیه سازی

پارامتر	مقدار
τ_{w2}	ps3
τ_{2w}	1 ps
τ_{21}	0.16 ps
τ_{12}	1.2 ps
τ_{1R}	0.4 ns
τ_{wR}	0.4 ns
N_Q	$5\times10^{10}\ cm^{-2}$
L_w	10 nm

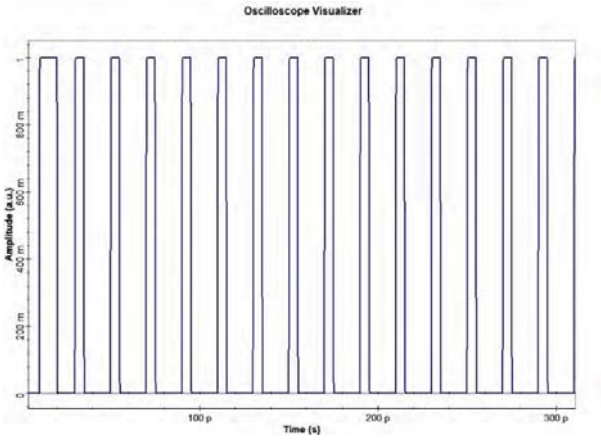
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.



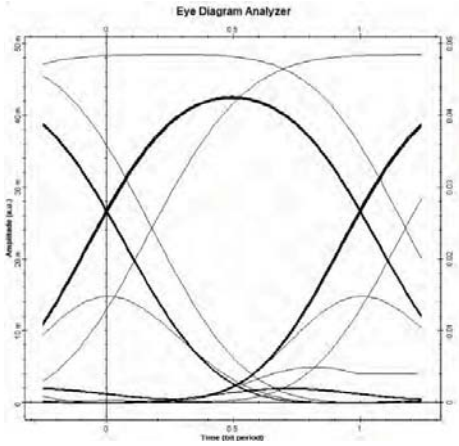
شکل ۲: سیگنال ورودی ۱ (۰۱۱۰)



شکل ۳: سیگنال ورودی۲ (۰۱۰۰)



شکل ۴: سیگنال خروجی AND.



شکل ۵: نمودار چشمی سیگنال خروجی گیت AND .

نتیجه‌گیری

با حل عددی معادلات نرخ برای تقویت کننده در نرم افزار متلب و به دست آوردن نتایج مورد نظر و با استفاده از این پارامترها در شبیه سازی گیت AND به این نتیجه رسیدیم که در سیگنال ورودی با طول موج ۱۲۸۰ نانومتر و توان ۰/۳ میلی وات، سیگنال خروجی گیت AND دارای توان ۱۳ میلی وات و ضریب کیفیت ۲۵/۸ است.

مرجع‌ها

[1] X. Zhang, “All-optical XOR gates based on dualsemiconductor optical amplifiers”.Cogent Physics, Vol. 6,2019.

[2] S. Kumar, “Semiconductor Optical Amplifiers (SOA) Performance Optimization in Optical Communication System”.International Journal of Computer Science Engineering Technology, Vol. 3, No. 9, 2012.

[3] A. Rostami, “NanostructureSemiconductor OpticalAmplifiers” Springer, 2011.

[4] A. Kotb, “All-optical XOR, NOR, and NAND logic functions with parallelsemiconductor optical amplifier-based Mach-Zehnder interferometermodules”, Optics and Laser Technology, Vol.108, pp. 426-433, 2018.

[5] El-Saeed, “Optical logic gates based on semiconductor optical amplifier Mach–Zehnder interferometer design and simulation”. Optical Engineering, Vol.55, No.2, pp.025104, 2016.

[6] O. Qasaimeh, “Characteristics of cross-gain (XG) wavelength conversion in quantum dot semiconductor optical amplifiers”.IEEE Photonics Technology Letters,Vol.16, No.2, pp. 542-544, 2004.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترس باشد.