شبیه‌سازی تقویت بهره در تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی

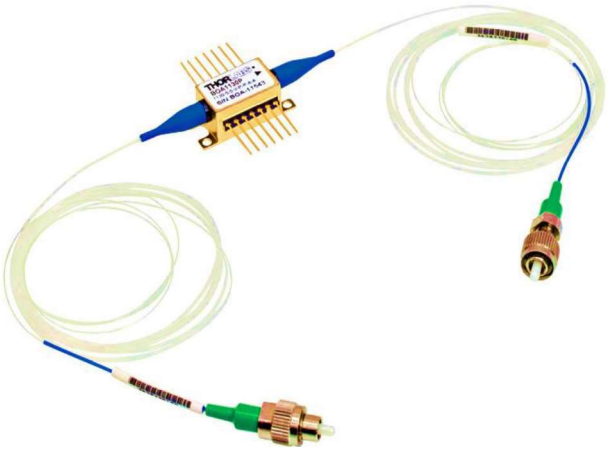
نویسنده: آرام قادری

چکیده: تقویت‌کننده‌ٔ نوری نیمه‌هادی (SOA) یک افزاره فوتونیکی است که در شبکه‌های ارتباط نوری در فواصل میانی جهت تقویت سیگنال نوری استفاده می‌شود. این افزاره تحت شرایط عملیاتی مناسب (بایاس، وارونگی جمعیت، وجود سیگنال ورودی) سیگنال نوری را تقویت می‌نماید. در SOA الکترون‌ها (معمولاً بیشتر به‌عنوان حامل معرفی می‌شوند) با یک منبع جریان خارجی به داخل ناحیه‌ٔ فعال تزریق می شوند. رایج‌ترین کاربرد SOA به‌عنوان یک بلوک بهره‌ٔ نوری پایه است. همچنین SOA رفتار غیرخطی از خود نشان می دهد که در حالت کلی این رفتار غیرخطی SOA می‌تواند باعث به وجود آمدن مشکلاتی مانند جیرجیر کردن فرکانسی و ترکیبی از محصولات مدولاسیون نسل دوم و سوم گردد؛ اما از این اثرات غیرخطی برای ساخت سوئیچ‌های تمام نوری و گیت‌های دیجیتالی تمام نوری استفاده می‌شود.

واژگان کلیدی: ارتباطات نوری، تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی، شبیه‌سازی تقویت‌کننده نوری،SOA

۱ – مقدمه

ارتباطات را می‌توان به‌طور مشخصی به‌عنوان انتقال اطلاعات از یک نقطه‌به‌نقطه‌ٔ دیگر تعریف کرد. در ارتباطات نوری داده‌ها به‌وسیله‌ٔ نور منتقل می‌شوند. امروزه سیستم‌های اپتیکی مورداستفاده درمجموع در نرخ بیت بالای ۱۰۰ گیگابایت/ ثانیه بر اساس سیستم‌های تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی و تجهیزات همراه کار می‌کنند. فنّاوری تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی به دلیل ظرفیت‌هایی ازجمله: پهنای باند تقریباً نامحدود قابلیت انجام هر نوع سرویس از سرویس‌های ارتباطاتی رادار است. به‌طورکلی تقویت‌کننده‌های نوری را می‌توان در دو کلاس دسته‌بندی کرد که در ادامه به شرح آن‌ها پرداخته‌ایم.



۱-۱- تقویت‌کننده‌های فیبری

این نوع تقویت‌کننده‌ها برای تقویت پالس‌های نوری تضعیف‌شده، در فواصل طولانی در مسیر تعبیه می‌شوند. برای ساخت این نوع فیبر ماده‌ای مانند اربیوم به‌عنوان افزودنی به ناحیه مرکزی فیبر اضافه می‌شود. در حین کار این قسمت از فیبر در حالت تحریک اتمی قرار داده می‌شود و هنگامی‌که پالس‌های تضعیف‌شده از این قسمت از فیبر عبور می‌کنند، با یک تبادل انرژی با اتم‌های تحریک‌شده، تقویت می‌شوند و بدین طریق تلفات ناشی از انتشار جبران می‌شود [۳]- [۱].

۱-۲- تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی SOA[1]

این نوع تقویت‌کننده‌ها را می‌توان معادل یک لیزر در نظر گرفت که در آن فیدبک کاواک[2] بسیار ضعیف شده است و به‌واسطه‌ٔ فرآیند گسیل تحریک‌شده سیگنال ورودی در طول ناحیه فعال تقویت می‌شود. در ساختار SOA نور ورودی به ناحیه فعال وارد و در راستای یک موجبر فعال تقویت و از انتهای این موجبر خارج می‌شود[۴]. هدف اصلی در استفاده از SOA دستیابی به نرخ بیت بالا و توانایی مجتمع شدن (به دلیل بسیار کوچک بودن) هست[۵].

۲- تاریخچه‌ٔ کوتاه از SOA

تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی یک افزاره فوتونیکی است که تحت شرایط عملیاتی مناسب سیگنال نوری را تقویت می‌کند [۶]،[۷].

[1] Semiconductor Optical Amplifier
[2] Cavity

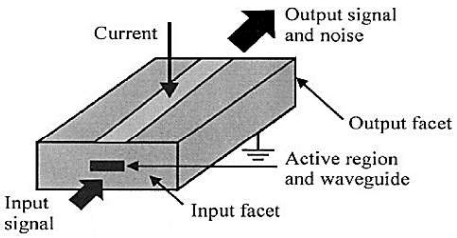
www.kahrobamag.ir

اولین تحقیق‌ها دربارهٔ این تقویت‌کننده در سال ۱۹۶۰ بعد از اختراع لیزر نیمه‌هادی بود؛ سپس زیدلر در سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۸۰، آگراوال در سال ۱۹۸۷، رایلی در سال ۱۹۹۱ و کانلی در سال ۲۰۰۰ به ادامه تحقیقات پرداختند[۸]،[۹]. تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی از خود اثرهای غیرخطی نشان می‌دهد که در سال ۱۹۸۹ آگراوال به بررسی یکی از اثرهای غیرخطی پرداخت[۱۰]. به‌عنوان یکی از کاربردهای اثر غیرخطی تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی می‌توان به ساخت گیت‌های تمام نوری اشاره نمود[۱۱]،[۱۲]. در پردازش و انتقال داده‌های نوری، تقویت‌کننده‌های نوری نیمه‌هادی به دلیل بهرهٔ تقویت بالا، توان مصرفی کم، سرعت‌بالا و کوپل ساده‌تر (نسبت به روش الکتریکی) بسیار حائز اهمیت هستند[۱۳]-[۱۷].

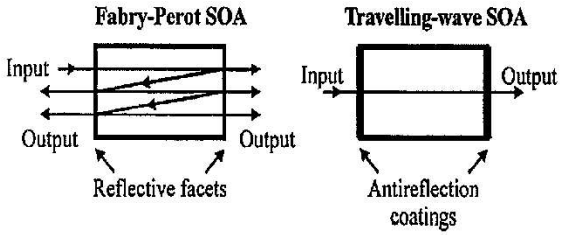
بیشتر تقویت‌کننده‌های نوری تجاری ازنظر وابستگی به قطبش مستقل هستند. امّا در برخی از افزاره‌های اپتیکی شاهد تفاوت‌هایی در شاخص‌های TE و TM تقویت‌کننده هستیم؛ که بحث وابستگی تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی به قطبش سیگنال را به وجود می‌آورد. ازجمله کاربردهای تغییر قطبش می‌توان به دی مالتی‌پلکسر و مبدل طول‌موج اشاره نمود [۴]،[۱۸]. در عمل گسترش فناوری SOA در آینده با منافع خاص در برنامه‌های کاربردی مانند سوئیچینگ نوری تبدیل طول‌موج انجام می‌گیرد. استفاده از مدارهای مجتمع نوری (PICS) در SOA توجه محققان زیادی را به خود جلب کرده است[۱۹].

۳- شرح اساس کار SOA

SOA یک دستگاه الکترونیک نوری است که تحت شرایط عملیاتی مناسب می‌تواند سیگنال ورودی نوری را تقویت کند. تفاوت تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی با لیزر (نیمه‌هادی) در حذف منعکس‌کننده‌ها است. شماتیک اساس کار یک SOA در شکل (۱) نشان داده‌شده است. در یک تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی پس از اتصال منبع جریان و شارش بار الکتریکی، نور عبوری از تقویت‌کننده نوری در ناحیه فعال تقویت می‌شود. تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی سیگنال نوری ضعیف را از طریق گسیل برانگیخته تقویت می‌کند و در دو نوع تقویت‌کننده فابری-پرو و تقویت‌کننده موج متحرک است. اختلاف اصلی این دو نوع تقویت‌کننده در بازتاب نور در دیواره‌های محفظه است که برای فابری پرو تقریباً ۳۰٪ و در نوع موج متحرک ۰/۰۱٪ در شکل (۲) شماتیک آن‌ها نشان داده‌شده است. بازتابش بالا در دیواره‌های فابری پرو باعث تشدید در تقویت می‌شود. درنتیجه پهنای باند باریکی در حدود 5GHz دارند [۴].



شکل (۱): شماتیک SOA را نشان می‌دهد[۴].



شکل (۲): شماتیک SOA– TW و FP- SOA [۴]

۴- مشخصات اساسی دستگاه SOA

رایج‌ترین کاربرد SOA به‌عنوان یک بلوک بهرهٔ نوری پایه است. برخی از مشخصات کاربردی SOA عبارت‌اند از:

- بهره و پهنای باند بالا.
- جنبه‌های (facets) منعکس‌شده قابل‌چشم‌پوشی هستند.
- قدرت خروجی اشباع بالا است.
- حساسیت پلاریزاسیون (قطبی شدگی) کم است.
- نویز افزودنی کم در حد تئوریک.
- غیرحساس به مشخصه‌های مدولاسیون سیگنال ورودی.
- تقویت چندکاناله بدون تداخل.
- غیرخطی بودن.

هدف اصلی در تحقق و گسترش SOA، تحقق بخشیدن به این خواص در دستگاه‌های عملی هست [۴].

۵- کاربردها

تقویت‌کنندهٔ نوری نیمه‌هادی (SOA) می‌تواند به‌عنوان یک تقویت‌کننده در یک سیستم ارتباط فیبر نوری یا هر نوع دیگر از کاربردهای تقویت‌کنندهٔ نوری استفاده شود. اگرچه مطالعات زیادی در کاربردهای SOA در سیستم‌های ارتباط فیبر نوری گزارش‌شده است در این کاربردها یک محدودیت نسبتاً کم، در توان اشباع (۱۰۰-۱۰) میلی وات در SOA دیده می‌شود. بااین‌حال بسیاری از کاربردهای جدید SOA در همهٔ شبکه‌های نوری دیده می‌شود. یک مورد از این کاربرد شامل تبدیل طول‌موج

www.kahrobamag.ir

است. جایی که اطلاعات سیگنال در طول‌موج L1 تبدیل به اطلاعات دیگر در طول‌موج L2 می‌شود. مقسم نوری درجایی که سرعت خیلی بالاست (>۱۰۰Gb/s) اطلاعات نوری را تبدیل به چند شاخه با سرعت کم می‌کند (۱۰-۲۰Gb/s) و داده‌ها را با استفاده از ابزارهای متعارف الکترونیکی برای اطلاعات بازیابی می کند.

همهٔ پردازشگرهای سیگنال نوری انتظار می‌رود که در آینده به طور فزاینده‌ای در توانا ساختن شبکه‌های مخابراتی استفاده شوند. گسترش فناوری‌های گیت نوری برای دستهٔ وسیعی از کاربرد شبکه‌های نوری قابل‌توجه می‌باشند؛ که عبارت‌اند از: سرعت‌بالای بسته داده‌های نوری، مسیریابی و رمزگذاری نوری. یک گام مهم در گسترش این فناوری در اثبات عناصر منطق نوری و مداری است که می‌تواند در سرعت‌های بالا ((Gb/sبه کار گرفته شود. این عناصر منطقی عبارت‌اند از گیت‌های: AND،XOR و مدارها مانند جست‌وجوگر برابری، جمع کنندهٔ تمام نوری و شیفت رجیسترها.SOA بر اساس ابزارهایی مانند تداخل‌سنج ماخ زندری برای گسترش همهٔ مدارهای منطقی نوری در دست بررسی است [۱۹].

۶- نتایج شبیه‌سازی

در اینجا یک تقویت‌کننده نوری نیمه‌هادی را با مشخصات زیر شبیه‌سازی نمودیم که با تغییر سیگنال ورودی از بهره ۱۰۰۰ تا ۹۰۰۰ به خروجی‌های شکل (۴) دست‌یافتیم. معادله حاکم بر تقویت‌کننده در زیر نشان داده‌شده است و خلاصه‌شده کل معادلات است. معادله (۱,۱) معادله توان تقویت‌کننده، معادله (۲,۱) معادله اختلاف فاز به وجود آمده در خروجی به دلیل اثرات غیرخطی و معادله (۳,۱) معادله بهره خروجی مدار که در شکل (۴) به‌دست‌آمده است.

همچنین اختلاف‌فاز به وجود آمده در معادله (۲,۱) در شکل (۵) نشان داده‌شده است.

$$\frac{\partial P}{\partial Z} = \left(g - \alpha_{\text{int}}\right) P \qquad (۱.۰)$$

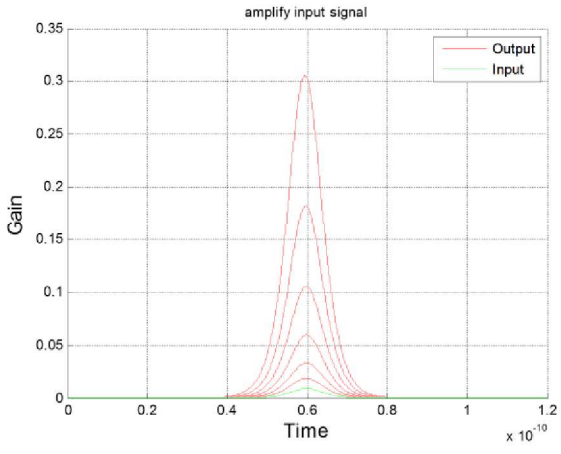
$$\frac{\partial \varphi}{\partial Z} = -\frac{1}{2}\alpha g \qquad (۲.۰)$$

$$\frac{\partial g}{\partial \tau} = \frac{g_0 - g}{\tau_c} - \frac{gP}{E_{sat}} \qquad (۳.۰)$$

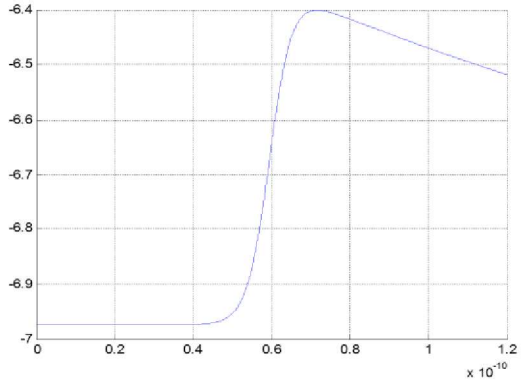
شرایط شبیه‌سازی به‌صورت زیر است:

- tp = 10e-12; Input pulse width
- t0 = tp/1.7627;
- tp = t0*1.665; FWHM of input pulse

T2 =.1e-12; Carrier relaxation time
alphaN = 3.1; Linewidth enhacement factor
L = 500e-6; Waveguide lenght
Taus = 200e-12; carrier lifetime
alphaint = 1500; internal loss
phase0 = 0; signal phase
C0 = 3e8;
f0 = 349e12;



شکل (۴): نتایج خروجی شبیه‌سازی در متلب، شکل موج سبزرنگ نمونه سیگنال ورودی و شکل موج‌های قرمز سیگنال خروجی با ورودی‌های مختلف هست.



شکل (۴): شبیه‌سازی اختلاف‌فاز به وجود آمده در تقویت‌کننده به دلیل اثر غیرخطی (مدولاسیون فاز)

۷- مزایا و معایب:

مزایا

- گسترهٔ طول‌موج‌های کاری وسیع (1250-1650 nm).
- قیمت پایین با ارزش تولیدی بالا.
- قابلیت مجتمع شدن با دیگر اجزا.

معایب

- بالا بودن تلفات کوپلینگ.
- حساسیت پلاریزاسیون (حدود ۰ dB.5).
- ایجاد تداخل بین کانال‌ها.

www.kahrobamag.ir

نویز فیگور بالا.

۸- نتیجه‌گیری

این افزاره باعث افزایش سرعت شده است و با استفاده از اثرات غیرخطی آن گیت‌های نوری و سوئیچ‌های نوری می‌سازیم. استعداد زیادی برای غیرخطی شدن خروجی (در میدان‌های بالا) دارد و به کمک آن انتقال سیگنال به نقاط دوردست ساده‌تر، سریع‌تر و ایمن‌تر شده است. اصول کار آن ساده و نیاز زیرساخت‌های بسیار پیچیده ندارد و به‌راحتی بهره تقویت آن را به روش‌های کوانتومی افزایش می‌دهند.

مراجع

[1] E. Desurvire, “Erbium-Doped Fibre Amplifiers: Principles and Applications,” John Wiley N. Y.

[2] M. W.J, “Erbium-Doped Glass for Amplifiers at 1550 nm,” IEEE J Light. Technol, vol. 9, pp. 234–250, 1991.

[3] Shoichi Sudo, Optical Fiber Amplifiers: Materials, Devices, and Applications. Artech House Optoelectronics Library, 1997.

[4] M. j Connelly, Semiconductor optical Amplifiers. university of Limerick,Ireland: Kluwer Academic, 2002.

[5] C. Politi, M. J. O’Mahony, and D. Klonidis, “Dynamic behavior of wavelength converters based on FWM in SOAs,” IEEE J Quantum Electron. vol. 44, pp. 108–125, Feb. 2006.

[6] S. D. Personick, “Applications for quantum amplifiers in simple digital optical communication systems 8,” Bell Syst, vol. 52, pp. 117–133, 1973.

[7] G. Zeidler, “Use of laser Amplifiers in glass fibre communication systems 7,” Siemens Forch, pp. 227–234, 1973.

[8] Y. Yamamoto, “Characteristics of AlGaAs Fabry-Perot cavity type laser amplifiers 9,” IEEE J Quantum Electron, vol. 16, pp. 1047–1052, 1980.

[9] J. C. Simon, “GaInAsP Semiconductor laser Amplifiers for single-mode fibre communications 11,” IEEEOSA J Light. Technol, vol. 5, pp. 1286–1295, 1987.

[10] govind Agrawal, “Self-Phase Modulation and Spectral Broadening of Optical Pulses in Semiconductor Laser Amplifiers,” lEEE, vol. 25, 1989.

[11] Kyoung Sun Choi, “All-optical OR/NOR bi-functional logic gate by using cross-gain modulation in semiconductor optical,” Korean Phys. Soc. vol. 56, pp. 1093–1096, 2010.

[12] K. E. Stubkjaer, “Semiconductor Optical Amplifier-Based All-Optical Gates for High-Speed Optical Processing IEEE JOURNAL ON SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS,” vol. 6, Dec. 2000.

[13] S. D. Personick, “Applications for quantum amplifiers in simple digital optical communication systems 1-8,” Bell Sysr Tech J, vol. 52, pp. 117–133, 1973.

[14] Y. Yamamoto, “Characteristics of AlGaAs Fabry-Perot cavity type laser amplifiers 1-8,” IEEE J Quantum Electron, vol. QE-16, no. 10, pp. 1047–1052, 1980.

[15] Y. Yamamoto and T. Kimura, “Coherent optical fiber transmission systems 1-8,” IEEE J Quantum Electron, vol. QE-17, pp. 897–905, 1981.

[16] H. A. Steinberg, “The use of a laser amplifier in a laser communication system 1-8,” Proc IEEE, vol. 51, p. 943, 1963.

[17] G. Zeidler and and D. Schicketanz, “Use of laser amplifiers in a glass fiber communications system 1-8,” Siemens Forsch -U Entwickl, pp. 227–234, 1973.

[18] D.T. Schaafsma and E.M. Bradley, “Cross-gain modulation and frequency conversion crosstalk effects in 1550-nm gain-clamped semiconductor optical amplifiers,” IEEE Photon Technol Lett, pp. 727–729, 1999.

[19] D. Niloy and Wang, Semiconductor optical Amplifiers. university of connecticut,USA, 2006.