



بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه ۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز



طراحی و شبیه سازی یک مبدل طول موج با استفاده از تقویت کننده نوری نیمه هادی

نسیم حاجیان^۱، رحیم فائز^۲ و حمیدرضا حسینی^۳

^۱دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه برق و الکترونیک، اراک، ایران.

^۲دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی برق، گروه برق و الکترونیک، تهران، ایران.

^۳دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، گروه برق و الکترونیک، اراک، ایران.

چکیده - در این مقاله طراحی و شبیه سازی یک مبدل طول موج با استفاده از تقویت کننده نوری نیمه هادی انجام شده است. برای اولین بار از ماده *InGaAlAs* بعنوان ماده ناحیه فعال یک *Bulk SOA* استفاده شده است. به ازای درصد مولی گالیوم ۰/۴۲ و چگالی حامل $2 \times 10^{24} m^{-3}$ ، قله بهره دارای طول موج $880 nm$ است که در مقایسه با کارهای انجام شده در قبل، قله بهره در طول موج کمتری بدست آمده که نشان دهنده بهره بیشتر در این مقاله می باشد. همچنین با توجه به نتایج مشاهده می شود فرکانس چرپ کمتری در این مقاله خواهیم داشت.

کلید واژه- تقویت کننده نوری نیمه هادی، طراحی، معادلات انتشار، مدل چندبخشی، مبدل طول موج

Design and Simulation of a Wavelength Converter Using Semiconductor Optical Amplifier

Nasim Hajian, Rahim Faez, and Hamidreza Hoseini

Abstract- In this paper design and simulation of a wavelength converter using a semiconductor optical amplifier has been done. for the first time we use *InGaAlAs* material as active region material in a *Bulk SOA* which for 0.42 mole fraction Gallium and $2 \times 10^{24} m^{-3}$ carrier density peak of gain approaches at $880 nm$ wavelength comparing with the other researches in the past, the peak of gain is approached in a less wavelength which shows more gain in this paper. Also according to the results we observe that less chirping frequency will approaches.

Keywords: semiconductor optical amplifier, designing, equation emission, multi-segmentation model, wavelength converter

۱- مقدمه

$$\frac{dS_{sp}^{\pm}}{dz} = (\Gamma g_m(v_k) - \alpha_{int}) S_{sp}^{\pm} + \frac{\beta}{V_g} R_{sp} \quad (2)$$

S_{sp} فوتون گسیل خودبخودی، v_k فرکانس سیگنال k ام، V_g سرعت گروه و R_{sp} نویز گسیل خودبخودی است که به صورت بیان شده در [۵] تعریف می شود.

۳- تحلیل حالت های پایدار و گذرا

در تحلیل حالت گذرا، مقادیر اولیه چگالی حامل و فوتون نیاز است در نتیجه ابتدا تحلیل حالت پایدار را باید انجام داد. شرایط اولیه در دیواره ورودی عبارت است از:

$$S_{sig,1}^+ = (1 - R_1) S_{input} + R_1 S_{sig,1}^- G(1)$$

$$S_{sp,j,1}^+ = R_1 S_{sp,j,1}^- G(1) \quad (3)$$

و در دیواره خروجی:

$$S_{sig,M}^- = R_2 S_{sig,M}^+ G(M)$$

$$S_{sp,j,M}^- = R_2 S_{sp,j,M}^+ G(M) \quad (4)$$

$G(1)$ و $G(M)$ به ترتیب نشان دهنده بهره اولین و آخرین بخش و $S_{sp,j}$ فوتون گسیل خودبخودی j ام است. نرخ چگالی حامل نیز از رابطه زیر تبعیت می کند [۴]:

$$\frac{dn(k,t)}{dt} = \frac{I}{eV} - R(n(k,t)) - \sum_i \Gamma V_g g_m S_i \quad (5)$$

که S_i چگالی فوتون i ام، I جریان بایاس تقویت کننده، e بار الکترون و $V = W \times L \times d$ است [۶]. نرخ ترکیب $R(n)$ با توجه به [۲] تعریف می شود. می توان نوشت:

$$dn = dt \times \left(\frac{I}{eV} - R(n) - \text{Sum}(S_{sig}) - \text{Sum}(S_{ase}) \right)$$

$$n = n + dn \quad \text{پس}$$

حال، چگالی فوتون و حامل به دست آمده به صورت دوره ای، به عنوان یک مقدار اولیه هستند. سپس با استفاده از مقادیر به دست آمده از تحلیل حالت پایدار شروع به تحلیل حالت گذرا می شود:

$$dn = dt \times \left(\frac{I}{eV} - R(n) - \text{Sum}(S_{sig}) - \text{Sum}(S_{pump}) - \text{Sum}(S_{ase}) \right)$$

$$n = n + dn \quad \text{و}$$

S_{pump} فوتون سیگنال پمپ است.

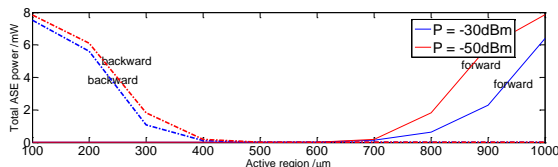
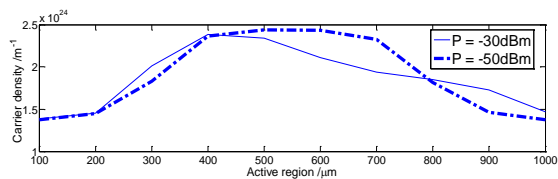
از آنجایی که تقویت کننده نوری نیمه هادی (SOA) سازگاری تکنولوژیکی و روش ساخت با قطعات لازم دیگر در مجموعه اپتوالکترونیکی را داراست بنابراین ترجیح داده میشود از این وسیله برای تبدیل طول موج استفاده شود [۱]. مبدل های طول موج براساس خواص غیر خطی در تقویت کننده های نوری نیمه هادی در چند سال اخیر مورد بررسی قرار گرفته اند [۲]. تبدیل طول موج با استفاده از مدولاسیون بهره متقابل در یک SOA مزایای بیشماری مانند سادگی ساختار و بازده بالا دارد [۳]، که در این مقاله از این مکانیزم برای ایجاد یک مبدل طول موج معکوس شده استفاده شده است. در بخش دوم طراحی مبدل طول موج و روش کار آورده می شود. در بخش سوم تحلیل مبدل در حالت پایدار و گذرا و در بخش چهارم نتایج و نتیجه گیری در بخش پنجم ارائه می شود.

۲- تحلیل مبدل طول موج طراحی شده

تقویت کننده نوری نیمه هادی مورد نظر با استفاده از InP و $In_{1-x-y}Ga_xAl_yAs$ با شرط تطبیق شبکه $x+y=0.47$ که x درصد مولی گالیوم و y درصد مولی آلومینیوم می باشد، ساخته شده است همچنین طول ناحیه فعال برابر با L است. روش اتخاذ شده، برای یک Bulk SOA که بر اساس حل عددی معادلات تزویج شده برای نرخ چگالی حامل و انتشار فوتون برای سیگنال ها در هر دو جهت مثبت و منفی و همچنین طیف نویز گسیل خودبخودی بنا شده است، می باشد. در این حالت تقویت کننده به M بخش مساوی با طول dL (مدل چند بخشی) تقسیم شده است. معادله انتشار فوتون به صورت زیر بیان می شود [۴]:

$$\frac{dS_{sig}^{\pm}(z,t)}{dz} = (\Gamma g_m - \alpha_{int}) S_{sig}^{\pm}(z,t) \quad (1)$$

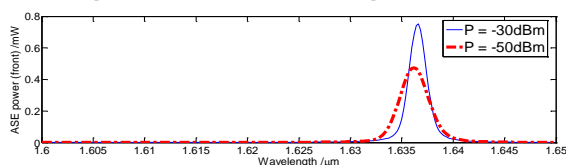
که z جهت انتشار سیگنال در طول ناحیه فعال و S_{sig} فوتون سیگنال انتشاری است. g_m که ضریب بهره ماده است طبق رابطه بیان شده در [۵] تعریف می شود. توان سیگنال انتشاری با توجه به [۶] تعریف می شود. معادله انتشار فوتون گسیل خودبخودی به صورت زیر بیان می شود [۴]:



شکل ۳: بررسی تغییرات چگالی حامل و توان ASE به ازای توان های مختلف

در توان پایین سیگنال ورودی، نرخ فوتون ASE در ابتدا و انتهای ناحیه فعال بیشترین مقدار خود را دارا می باشد بنابراین مقدار چگالی حامل در ابتدا و انتهای ناحیه فعال کمترین مقدار را دارد. در این حالت قله چگالی حامل دارای توزیع یکنواختی در داخل ناحیه فعال است و قله آن در وسط ناحیه فعال قرار دارد. در توان بالا در ابتدای ناحیه فعال نرخ فوتون سیگنال ورودی و نرخ فوتون ASE کمترین مقدار خود را دارا می باشند بنابراین مقدار چگالی حامل در ابتدای ناحیه فعال بیشترین مقدار را دارد. می توان نتیجه گرفت که با افزایش توان سیگنال ورودی قله چگالی حامل به سمت دیواره ورودی تقویت کننده، شیفت می خورد.

۴-۱-۲- اثر توان ورودی بر روی قله توان ASE

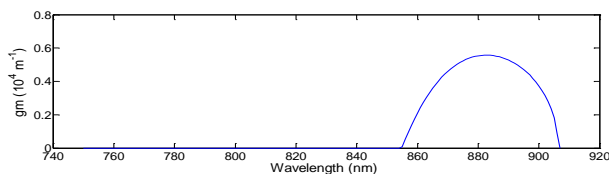


شکل ۴: توزیع توان ASE به ازای توان های مختلف

مشاهده می شود که با فرض ثابت بودن ضریب بازتاب، با افزایش توان سیگنال ورودی، سطح چگالی حامل کاهش یافته بنابراین قله بهره به سمت طول موج های بزرگتر جابجا می شود و مقدار بهره در طول موج های بزرگتر کاهش می یابد پس می توان گفت توان ASE به سمت طول موج های بزرگتر با اندازه ای بزرگتر جابجا می شود.

۴-۲- تحلیل نتایج در حالت گذرا

نتایج به ازای جریان بایاس 150 mA ، سیگنال موج پیوسته در طول موج 1550 nm و سیگنال مدوله شده حاوی اطلاعات در طول موج 1540 nm بدست آمده



شکل ۲: طیف g_m به ازای چگالی حامل $2 \times 10^{24}\text{ m}^{-3}$

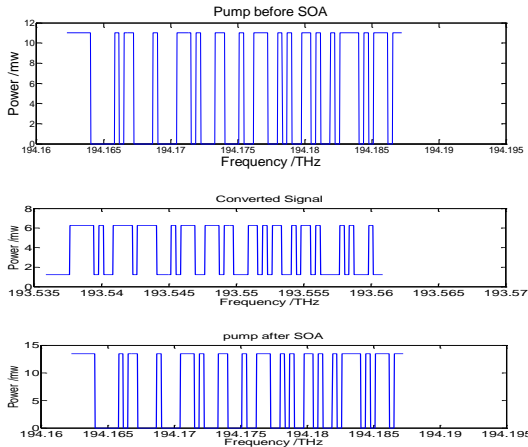
جدول ۱: پارامترهای ساختاری و ماده ای در SOA

مقدار	نماد	کمیت
$1000\ \mu\text{m}$	L	طول ناحیه فعال
$1/5\ \mu\text{m}$	W	پهنای ناحیه فعال
$1/2\ \mu\text{m}$	d	ضخامت ناحیه فعال
0.45	Γ	ضریب حبس نوری
0.05	y	درصد مولی آلومینیوم
$3/5170$	n_1	ضریب شکست ناحیه فعال
$3/167$	n_2	ضریب شکست نواحی پوششی
$2/1 \times 10^{-10}\text{ eV m}$	k_g	ضریب کاهش شکاف انرژی
$7 \times 10^7\text{ s}^{-1}$	A_{nrad}	ضریب ترکیب غیر نوری خطی ناشی از تله ها
$1/5 \times 10^{-16}\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$	B_{rad}	ضریب ترکیب نوری دو مولکولی
$1/4 \times 10^{-40}\text{ m}^6\text{ s}^{-1}$	C_{aug}	ضریب ترکیب اوزنه
10^{-6}	R_1	ضریب بازتابش دیواره ورودی
10^{-6}	R_2	ضریب بازتابش دیواره خروجی
10^{-4}	β	فاکتور تزویج
$4 \times 10^{-39}\text{ J m}^2$	K_G	ضریب بهره
$0.3 \times 10^9\text{ s}^{-1}$	P_{em}	احتمال گسیل
$5 \times 10^2\text{ m}^{-1}$	α_{int}	تلفات ذاتی
$3 \times 10^{-20}\text{ m}^2$	$\frac{dg_m}{dn}$	بهره تفاضلی
$1/8 \times 10^{12}\text{ m}^{-3}$	N_{tr}	چگالی حامل شفافیت
$4/19 \times 10^{-21}\text{ kg}$	m_v	جرم مؤثر حفره سنگین در نوار ظرفیت
$4/35 \times 10^{-22}\text{ kg}$	m_c	جرم مؤثر الکترون در نوار هدایت
$3/941 \times 10^{-22}\text{ kg}$	m_r	جرم مؤثر کاهش یافته
4	α_1	فاکتور افزایش پهنای خط

۴- تحلیل نتایج در حالت پایدار

۴-۱-۱- اثر توان ASE بر روی توزیع چگالی

حامل در طول ناحیه فعال



شکل ۴: سیگنال های پمپ و پروب بعد از عمل تبدیل طول موج

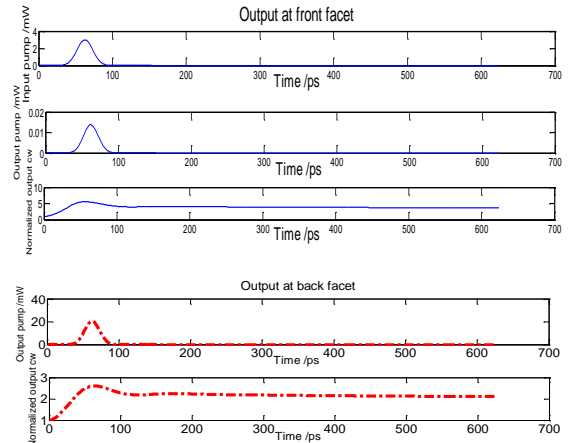
۵- نتیجه گیری

در حالت پایدار در توان پایین ورودی اثر ASE بیشتر از سیگنال ورودی می باشد بنابراین ASE در جهت مثبت و منفی به صورت متقارن انتشار می یابد و قله چگالی حامل در وسط ناحیه فعال قرار دارد. با افزایش توان، توزیع ASE دیگر حالت تقارنی ندارد همچنین قله چگالی حامل به سمت دیواره ورودی تقویت کننده، شیفت می خورد. مشاهده شد که با فرض ثابت بودن ضریب بازتاب، افزایش توان سیگنال ورودی باعث می شود توان ASE به سمت طول موج مرکزی، تمرکز پیدا کند. در حالت گذرا سیگنال های پمپ و پروب خروجی، تغییرات فاز و فرکانس چرپ بررسی شد و مشاهده شد که فرکانس چرپ کمتری در کار انجام شده در این مقاله بدست می آید، همچنین عمل تغییر فرکانس (تبدیل طول موج) بررسی شد.

مراجع

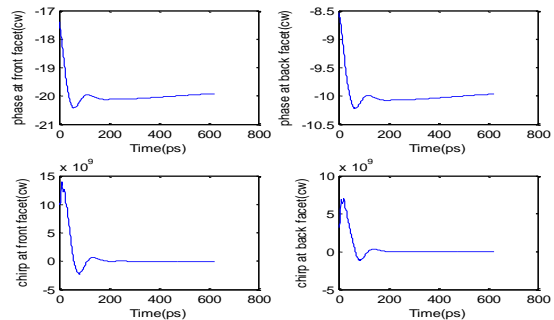
- [1] HU, Billy, Research on the Wavelength Conversion Technology Based on Semiconductor Optical Amplifier (SOA), **IT Research Paper**, 2011
- [2] J. Connelly, Michael, *Semiconductor Optical Amplifiers*, Kluwer Academic Publishers New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2004
- [3] Qiang Gau, Li; J. Connelly, Micheal, *Signal-Induced Birefringence and Dichroism in a Tensile-Strained Bulk Semiconductor Optical Amplifier and Its Application to Wavelength Conversion*, **Journal of Light wave Technology**, vol.23, 2005
- [4] Jiang, High Speed Dynamic Response Model of SOA, 2004
- [5] Boucher, Yann; Sharaiha, Ammar, Spectral Properties of Amplified Spontaneous Emission in Semiconductor Optical Amplifiers, **IEEE Journal of Quantum Electronics**, vol. 36, 2000
- [6] Mathlouthi, Walid; Lemieux, Pascal; Salsi, Massimiliano; Vannucci, Armando; Bononi, Alberto; Rusch, Leslie A; Member, Senior, *Fast and Efficient Dynamic WDM Semiconductor Optical Amplifier Model*, **Journal of Lightwave Technology**, vol. 24, 2006

است. در تزریق جریان با شدت زیاد، SOA اشباع می شود پس از مدتی مشاهده می شود لبه جلویی سیگنال پروب تقویت می شود، هنگامیکه تراکم حامل ها به مقدار خاصی رسید، ضریب بهره کمتر از ضریب جذب می شود و سیگنال بیش از این تقویت نمی شود بنابراین پالس خروجی دیگر توزیع اکیداً صعودی ندارد و کمی به جلو کج می شود.



شکل ۲: توان سیگنال های پمپ و پروب در دیواره های ورودی و خروجی

۴-۲-۱- بررسی فرکانس چرپ



شکل ۳: تغییرات فاز و فرکانس چرپ به ازای توان -30 dBm

با توجه به شکل های بالا می توان گفت فرکانس چرپ شامل دو مُد می باشد، زمانیکه فاز کاهش می یابد سیگنال خروجی یک چرپ قرمز (کاهش فرکانس) و در مُد بازبایی فاز، یک چرپ آبی (افزایش فرکانس) را تجربه می کند. مشاهده می شود ماکزیمم چرپ قرمز بیشتر از ماکزیمم چرپ آبی است که دلیل این امر در تفاوت تراکم حامل در این دو نقطه، نهفته است.

۴-۳- تبدیل طول موج