



بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰



طراحی و شبیه‌سازی توری موجبر آرایه‌ای 32×32 کاناله 50 GH مخابراتی

مهسا اللهیاری ایگدیر، حمیدرضا حبیبیان و پرویز پروین

دانشکده فیزیک و مهندسی انرژی، گروه فیزیک کاربردی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران،

ایران

Mahsa_allahyari@gmail.com

habibiyan@aut.ac.ir

parvin@aut.ac.ir

چکیده - در این مقاله ما به طراحی و شبیه‌سازی یک توری موجبر آرایه‌ای 32×32 کاناله پرداختیم. از توری موجبر آرایه‌ای در مخابرات نوری به عنوان تقسیم و تسهیم کننده طول موج استفاده می‌شود. با توجه به مزایای این روش، توری موجبر آرایه‌ای به یکی از روش‌های کاربردی مالتی پلکسینگ در سیستم‌های DWDM تبدیل شده‌است. در این روش با استفاده از پدیده‌های نوری اعم از اختلاف راه نوری و پدیده تداخل، عملیات تقسیم/تسهیم طول موج انجام می‌پذیرد. توری موجبر طراحی شده مطابق طول موج مخابراتی باند C، با طول موج مرکزی 1550 nm است. ابعاد این ساختار 12×10.5 میلی‌متر مربع و دارای فاصله کانال 50 GHz ، هم‌نشانی 28.12 dB ، دسیبل و افت الحاقی 4.98 dB می‌باشد.

کلیدواژه - آرایه‌های فازی، توری موجبر آرایه‌ای، مالتی/دی مالتی پلکسر نوری، مدارات مجتمع فوتونیک

Design and Simulation of communicational 32×32 Channels 50 GH Arrayed Waveguide Grating

Mahsa Allahyari Imdir, Hamidreza Habibiyan, and Parviz Parvin

Department of Physics and Energy Engineering, Faculty of Applied Physics, Amirkabir University of Technology (Tehran Polytechnic), Tehran, Iran

Mahsa_allahyari@gmail.com

habibiyan@aut.ac.ir

parvin@aut.ac.ir

Abstract - In this paper, we simulate a 32-channel arrayed waveguide grating. Arrayed waveguide gratings are in used as wavelength multi/demultiplexers in optical communication. According to the advantages of this method, Arrayed waveguide grating becomes an applied method in dense wavelength division multiplexing systems. In this method, using wave phenomena including optical path difference and interference, wavelength multi/demultiplexing is performed. The proposed Arrayed waveguide grating is designed for the C-band frequency range, with a central wavelength of 1555 nm . The size of this structure, channel spacing, crosstalk, and insertion loss are $12 \times 10.5 \text{ mm}^2$, 50 GHz , -28.12 dB , 4.98 dB , respectively.

Keywords: Phased arrays, Arrayed waveguide grating, Multi/Demultiplexing, Photonic integrated circuit

مقدمه

پیشرفت تکنولوژی و توسعه ارتباطات مالتی مدیا مسبب پیدایش نیاز به شبکه های ظرفیت بالای راه دور شد و یکی از روش های پیشنهادی برای حل این مسئله استفاده از روش های تقسیم و تسهیم طول موج است. مالتی/دی مالتی پلکسرها به دلیل افزایش تعداد کانال های قابل انتقال در یک بستر کاربردهای فراوانی در حوزه شبکه های مخابرات نوری دارند [۱، ۲]. یکی از روش های تقسیم و تسهیم طول موج در مخابرات نوری استفاده از توری موجبر آرایه ای است. توری موجبر آرایه ای به دلیل قابلیت مجتمع سازی، طول عمر بیشتر و کمتر بودن پیچیدگی ساخت در سیستم های DWDM^۱ مورد استفاده قرار می گیرند [۳].

ساختارهایی بر پایه سیلکون با توجه به پیشرفت فرایند CMOS^۲ و امکان مجتمع سازی بیشتر در میکروالکترونیک و اپتوالکترونیک ظرفیت بسیاری دارند [۱]. اختلاف ضریب شکست بالا میان هسته و پوسته موجبر امکان استفاده از زاویه های تندتر وجود داشته که موجب تأثیر بیش از دو برابری در کاهش ابعاد قطعه می شود و چنین ساختارهایی را به راحتی می توان پیاده سازی کرد [۴]. توری موجبر آرایه ای ۳۲ کاناله ۵۰ گیگاهرتز که طراحی کردیم، از ساختارهای سیلکون بر روی عایق محسوب شده و بر پایه Si₃N₄ است.

مبانی طراحی

هر توری موجبر آرایه ای شامل موجبرهای ورودی و خروجی، موجبرهای آرایه ای (که آرایه فازی نیز نامیده می شود)، دو ناحیه انتشار آزاد تشکیل می شود [۵]. پرتو نور از طریق موجبرهای ورودی وارد ساختار می شود. پرتو انتشار یافته در موجبرهای ورودی در انتهای موجبرها وارد ناحیه انتشار آزاد ورودی شده و در این ناحیه واگرا می شود. در انتهای این ناحیه به موجبرهای آرایه ای تزویج شده و درون

هر یک از آنها منتشر می شود [۱]. اختلاف مسیر ایجاد شده بین موجبرهای آرایه ای موجب به وجود آمدن اختلاف فاز بین پرتوهای عبوری از موجبرهای آرایه ای می شود و این اختلاف فاز عامل اصلی تداخل پرتو نور در روزنه خروجی است. اختلاف مسیر بین موجبرهای آرایه ای با استفاده از رابطه (۱) بدست می آید.

$$(n_s/\lambda)(\sin \theta_i + \sin \theta_o) = mG \quad (1)$$

که در این رابطه n_s ضریب شکست ناحیه انتشار آزاد، θ_i و θ_o به ترتیب زوایای ورودی و خروجی موجبرها، G بردار گریتینگ و m درجه تفرق است. G در گریتینگ های آرایه ای به صورت $G = (1 - (n_c \Delta L)/m\lambda)/d$ تعریف می شود [۶]. در این رابطه n_c ضریب شکست مؤثر موجبرهای آرایه ای d فاصله بین آرایه موجبرها، و ΔL اختلاف مسیر ثابت بین آرایه موجبرها است. ΔL نوعاً بسیار بزرگتر از طول موج در نظر گرفته می شود، تا درجات تفرق زیادی را بوجود آورد. با جاگذاری G در معادله گریتینگ آرایه موجبری طبق رابطه (۲) خواهیم داشت:

$$n_s(d_i \sin \theta_i + d_o \sin \theta_o) + n_c \Delta L = m\lambda \quad (2)$$

با توجه به این نکته که طول کانونی گریتینگ آرایه موجبری بسیار بزرگتر از فاصله بین موجبرها است، برای یافتن طول موج مرکزی $\theta_o = \theta_i = 0$ در نظر می گیریم. در این صورت رابطه فوق بصورت معادله (۳) در می آید:

$$\Delta L = m \frac{\lambda_0}{n_c} \quad (3)$$

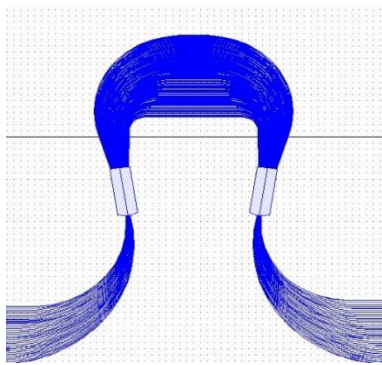
در این رابطه λ_0 طول موج مرکزی طراحی موجبرها است. طبق این رابطه میتوان اختلاف طول موجبرهای مجاور در آرایه فازی را بدست آورد [۵]. با توجه به نکات ذکر شده، توزیع میدان در ورودی موجبرهای آرایه ای در انتهای آنها نیز بازتولید خواهند شد. پرتوهای نور تداخل یافته و متمرکز شده حول محیط ناحیه انتشار آزاد توسط موجبرهای

^۱ Dense Wavelength Division Multiplexing

^۲ Complementary Metal Oxide Semiconductor

شبیه‌سازی و نتایج

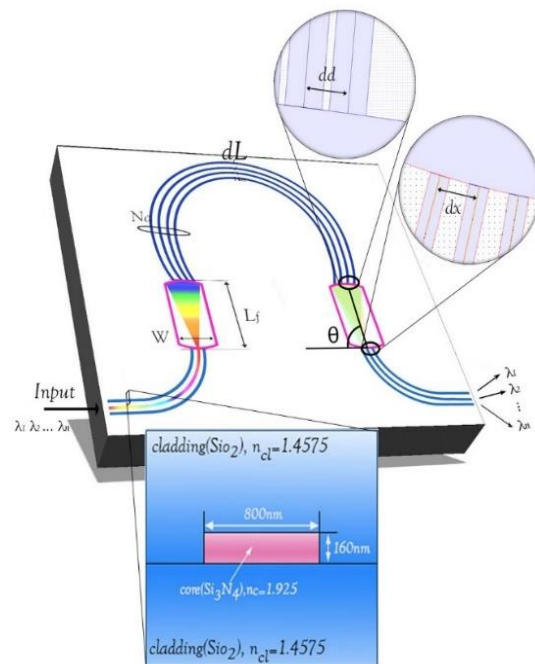
در این پژوهش برای شبیه‌سازی از ابزار AWG-Phasor شرکت Optiwave استفاده شده است. این ابزار طراحی بر اساس پارامترهای تئوری محاسبه شده مانند ضریب شکست قطعه، تعداد کانال‌ها، فاصله کانال‌ها و اختلاف طول هر موجبر آرایه‌ای با موجبر آرایه‌ای مجاور ایجاد می‌کند. سپس با تکرار شبیه‌سازی با تغییر پارامترهایی مانند تعداد موجبرهای آرایه‌ای، شکل آن‌ها و زاویه ناحیه انتشار آزاد بهترین نتیجه بدست می‌آید. تعداد موجبرهای آرایه‌ای بهینه طراحی شده برای توری موجبر آرایه‌ای ۳۲ کاناله ۵۰ گیگاهرتزی، ۱۰۶ می‌باشد.



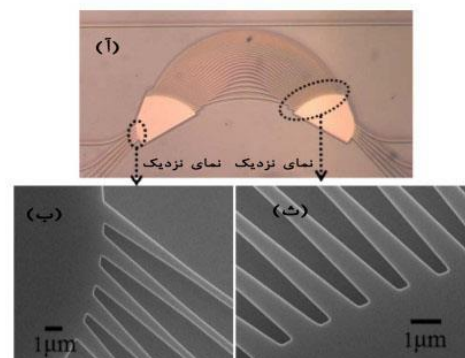
شکل ۳: شکل کلی توری موجبر آرایه‌ای شبیه‌سازی شده

شکل ۳ شکل توری موجبر آرایه‌ای طراحی شده در این مقاله را نشان می‌دهد. ابعاد این توری موجبر آرایه‌ای 10.5×12 میلی‌متر مربع، کمترین فاصله موجبرهای ورودی و خروجی ۴ میکرومتر، فاصله موجبرهای آرایه‌ای از یکدیگر ۴/۸ میکرومتر و طول ناحیه انتشار آزاد 160.47 میکرومتر و زاویه آن با خط افقی 98.53 درجه است. بدترین هم‌سنوایی در میان ۳۲ کانال 9.8 دسیبل و مربوط به کانال شماره ۱۰، بدترین پهنای باند ۳ dB آمده از نتایج شبیه‌سازی فوق 2.2 نانومتر برای کانال ۳۲ و بدترین افت الحاقی محاسبه شده نیز مربوط به کانال اول به میزان 12.28 دسیبل است. هم‌سنوایی کلی سیستم طبق شبیه‌سازی انجام شده در این پژوهش 28.12 دسیبل می‌باشد که میزان قابل قبولی برای توری‌های موجبر آرایه‌ای

خروجی منتقل می‌شود. با توجه به این که فرکانس مرکزی سیستم مورد نظر ما 1.55 میکرومتر و ضریب شکست مؤثر 1.58625 است، اختلاف طول هر موجبر آرایه‌ای با موجبر مجاور 55.021 میکرومتر محاسبه شده است. شکل ۱ طرح کلی توری موجبر آرایه‌ای شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. شکل ۲ نیز ساختار ساخته شده در مرجع شماره [۷] می‌باشد.



شکل ۱: شماتیک توری موجبر طراحی شده. (در این شکل سطح مقطع موجبر و پارامترهای طراحی نیز مشخص است.)



شکل ۲: (آ) تصویر میکروسکوپ نوری از توری موجبر آرایه‌ای ساخته شده در مرجع شماره [۷]، (ب) و (ث) تصویر SEM از موجبرهای خروجی و آرایه‌های توری موجبر آرایه‌ای ساخته شده در مرجع [۷]

نتیجه گیری

در این مقاله به طراحی و شبیه سازی توری موجبر آرایه ای با ۳۲ کانال با فاصله کانال ۵۰ گیگاهرتز و همشناوبی ۲۸/۱۲ دسیبل پرداخته شده است. افزایش تعداد کانال ها موجب بزرگتر شدن ناحیه انتشار آزاد و کمتر شدن فاصله موجبرها از یکدیگر می شود که در نتیجه آن تلفات افزایش می یابد. از سویی دیگر افزایش کانال ها و به طبع آن افزایش تعداد آرایه موجبرها سبب ایجاد خم های تندتر در ساختار توری موجبر آرایه ای می شود که خود عامل دیگری در افزایش تلفات محسوب می شود. در این مقاله با استفاده از تغییر شکل توری موجبر آرایه ای، ابعاد و افت الحاقی سیستم همزمان کاهش یافتند.

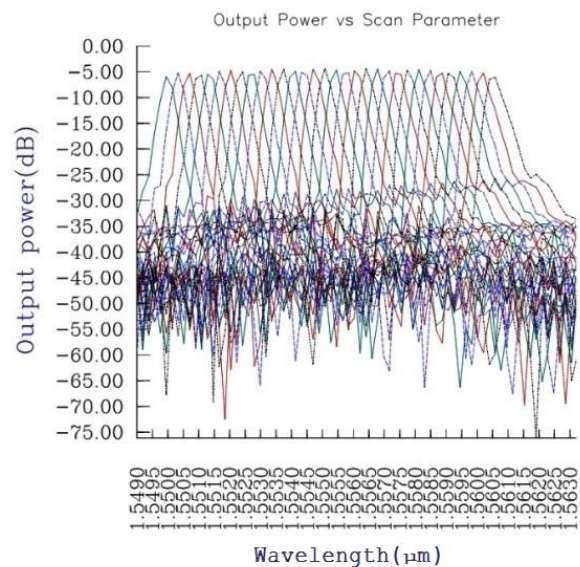
مرجع ها

- [1] Hu, H., et al., Folded 15-channel arrayed waveguide gratings on silicon nitride platform with loop reflector. *Optics Communications*, 2021. **500**: p. 127321.
- [2] Hu, T., et al., A high-resolution miniaturized ultraviolet spectrometer based on arrayed waveguide grating and microring cascade structures. *Optics Communications*, 2021. **482**: p. 126591.
- [3] Zheng, Y., et al., Optical performances analysis and structure parameters optimization design of dense arrayed waveguide grating. *Results in Optics*, 2021. **2**: p. ۱۰۰۰۴۹.
- [4] Seyringer, D., C. Burtscher, and L. Gajdosova. Si3N4 based 40-ch, 50-GHz AWG for medical applications. in *Proc. APCOM*. 2017.
- [5] Seyringer, D., *Arrayed Waveguide Gratings*. 2016, Bellingham, Washington 98227-0010 USA: SPIE Press.
- [6] Loewen, E. and E. Popov, *Diffraction gratings and applications*. New York: M. 1997, Dekker (Optical engineering, 58).
- [7] Zou, J., et al., Birefringence compensated silicon nanowire arrayed waveguide grating for CWDM optical interconnects. *Optics letters*, 2014. **39**: (V) p. 1834-1837.
- [8] Fan, S. and D. Gao. A Flat-top Arrayed Waveguide Grating Using A MMI Based on V-shaped Subwavelength Gratings. in *2021 International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE)*. 2021. IEEE.

محسوب می شود. جدول ۱ نتایج بدست آمده از شبیه سازی توری موجبر آرایه ای طراحی شده در این پژوهش می باشد.

جدول ۱: پارامترهای خروجی توری موجبر آرایه ای طراحی شده

همشناوبی [dB]	فاصله کانال [GHz]	پهنای باند dB ^۳ [nm]	افت الحاقی [dB]	گستره آزادی طیفی [nm]
-۲۸/۱	۵۰	۰/۵۸۴	۴/۹۸	۲۷/۱۷



شکل ۴: نمودار خروجی توان بر حسب طول موج

شکل ۴ نشان دهنده نمودار خروجی توان بر حسب طول موج می باشد. در جدول ۲ نیز توری موجبر آرایه ای طراحی شده در این پژوهش را با چند مقاله دیگر مورد مقایسه قرار داده ایم.

جدول ۲: جدول مقایسه توری موجبر طراحی شده در این پژوهش با مقالات دیگر

شماره مرجع	تعداد کانال ها	همشناوبی (dB)	افت الحاقی (dB)	ابعاد (mm ^۲)
این مقاله	۳۲	-۲۸/۱	۴/۹	۱۲×۱۰/۵
[۱]	۱۵	-۱۷/۲	۵/۴۶	۱/۵×۱/۲
[۸]	۸	~۲۰	-۵	-
[۲]	۳۰	-	۳/۹۸~۷/۵۵	-