



پیامبر اکرمؐ :

ہر کار از شمنده کہ در آن
بسم اللہ ذکر نشود ناقص است

بحار الأنوار، ج ۷۶، ص ۳۰۵

فصلنامه علمی پژوهش‌های سایبرالکترونیک

صاحب امتیاز: دانشکده علوم و مهندسی دفاعی دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)

سر دبیر: دکتر محمدعلی جوادزاده

مدیر مسئول: دکتر محمد کاظم بصیرتی

اعضای هیئت تحریریه

دکتر محمد کاظم بصیرتی	استادیار دانشگاه
دکتر حمیدرضا لشکریان	استادیار دانشگاه
دکتر مسعود باقری	دانشیار دانشگاه
دکتر محمدعلی جوادزاده	استادیار دانشگاه
دکتر حمید باباخانیان	مدرس دانشگاه
دکتر ضرغام رستمی	استادیار دانشگاه
دکتر حسین صابری	استادیار دانشگاه
دکتر مهدی علی‌نژاد	استادیار دانشگاه
مهندس سید محمود قطبانی	مدرس دانشگاه
مهندس علیرضا صفایی	مدرس و عضو هیئت علمی دانشگاه
مهندس حامد شیروی	مدرس دانشگاه
مهندس مرتضی یزدان‌پناه	مدرس دانشگاه
مهندس یوسف برجعلی	مدرس دانشگاه



همکاران علمی و داوران این شماره

دکتر منصور احدنژاد، دکتر حمید اکبری، دکتر رضا جلالی، دکتر بهروز خادم، دکتر علی کریمی، دکتر مصطفی عباسی،
دکتر مهدی علی‌نژاد، دکتر مهدی نقوی، مهندس علی بهتری، مهندس حامد شیروی، مهندس رامین دلیر،
مهندس سامان کشوری، مهندس پیمان قنوازی، مهندس مجید حاج جواد

مدیر اجرایی: مهندس علیرضا صفایی

ویراستار ادبی: سرکار خانم مهندس طوفانی

ویراستار انگلیسی و مترجم: مهندس فرامرز شمس سوسه‌باب

حروفچین و صفحه‌آرا: مهندس مرتضی یزدان‌پناه

طراح جلد: مهندس علی ذوالفقاریان

شمارگان: ۱۰۰ (نسخه چاپی) ۲۰۰ (نسخه الکترونیک) قیمت نسخه چاپی:

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، بعد از پل لشکرک، دانشگاه افسری و تربیت پاسداری امام حسین (ع)، دانشکده علوم و مهندسی دفاعی، تلفن: ۷۷۱۰۳۰۵۰ داخلی ۱۰۹

Web Site: www.Jce.ihuo.ac.ir

E-mail: Jce@ihuo.ac.ir

تمام حقوق مادی و معنوی برای دانشکده علوم و مهندسی دفاعی محفوظ است.

فهرست

- ❖ **سخن سردیر**..... (یازده)
- ❖ **تقسیم‌بندی معنایی برای تصاویر پهپاد با استفاده از روش‌های یادگیری عمیق**..... ۱۳
 - **سید محمدعلی ضیائی**
- ❖ **کاربرد سطوح انتخاب‌گر فرکانسی پهن باند در الکترونیک دفاعی**..... ۲۷
 - **علی عزیزی**
- ❖ **بررسی ارتباطات بی‌سیم برای شبکه هوشمند مبتنی بر رویکردها و فناوری‌های نوپدید از دیدگاه EMC**..... ۳۷
 - **ضرغام رستمی، احمد عطائی**
- ❖ **تحلیل و شبیه‌سازی ساختار نیم جمع‌کننده‌های نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی و ارائه پیشنهادهایی جهت بهبود عملکرد در مدارهای مجتمع نوری**..... ۴۷
 - **محمد مقصودی**
- ❖ **مزایای استفاده از جنگ سایبر الکترونیک در محیط‌های عملیاتی**..... ۵۷
 - **مهرداد نجفی نوکاشتی، محمدرضا موحدی‌صفت**
- ❖ **ارائه یک دسته‌بندی بر اساس مشخصه‌های سیستم عامل‌های بی‌درنگ**..... ۷۱
 - **مهدی قزلسفلو، مهدی نقوی**

تحلیل و شبیه‌سازی ساختار نیم جمع‌کننده‌های نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی و ارائه پیشنهادهایی جهت بهبود عملکرد در مدارهای مجتمع نوری

محمد مقصودی^۱

چکیده

در این مقاله به تحلیل و بررسی جمع‌کننده‌های نوری با توان مصرفی کم و کارایی بالا مبتنی بر بلورهای فوتونی با ساختار مثلثی و مربعی از جنس میله‌های سیلیکون در بستر هوا بدون استفاده از اثر غیرخطی Kerr پرداخته شده است. برای ساختارهای موردنظر پارامترهای حائز اهمیت از جمله نسبت کنتراست روشن به خاموش برای Sum و Carry و زمان پاسخ‌دهی و همچنین ابعاد ساختار بررسی و مقایسه گردیده و پیشنهادهایی برای بهبود آن‌ها ارائه شده است.

کلید واژه‌ها: بلور فوتونی، نیم جمع‌کننده‌های نوری، مدارهای مجتمع نوری

۱ دانشجوی دکتری الکترونیک، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران mohammad.maghsoudi@srbiau.ac.ir

۱- مقدمه

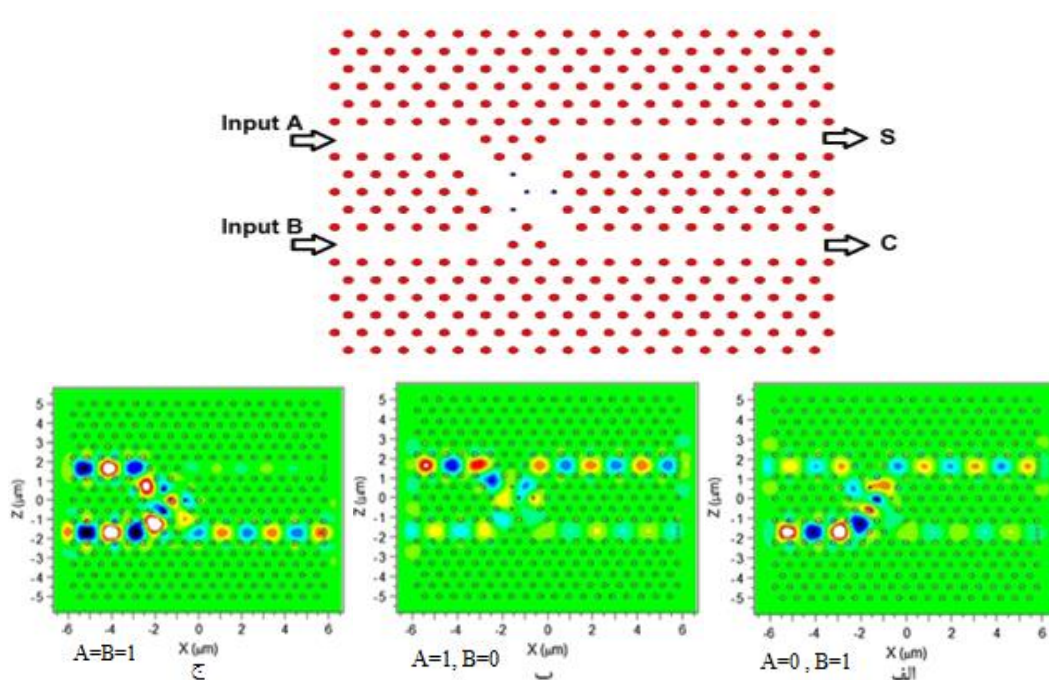
امروزه مدارهای مجتمع تمام نوری برای طراحی دستگاه‌های پردازشی و ارتباطی با سرعت بالا و توان مصرفی کم، نظیر لپ‌تاپ‌ها و تلفن‌های هوشمند بسیار موردتوجه قرار گرفته‌اند. به دلیل ناتوانی در ساخت ترانزیستورهای بسیار کوچک در آینده دانشمندان را به فکر جایگزینی الکترون‌های کُند توسط فوتون‌ها به‌عنوان حاملان اطلاعات انداخت که منجر به افزایش چشمگیر سرعت و حوزه عمل سیستم‌های ارتباطی و متحول‌شدن صنعت ارتباطات خواهد شد. به همین خاطر باید افزاره‌هایی ساخت که فوتون جایگزین الکترون شده باشد. یکی از زمینه‌های مناسب و پرکاربرد در الکترونیک نوری، بلورهای فوتونی با ساختارهای دی‌الکتریک یا فلز - دی‌الکتریک در اندازه نانو هستند. به دلیل ویژگی‌های مناسب بلورهای فوتونی مانند تغییر ضریب شکست به‌صورت متناوب و ابعاد کوچک این ساختارها برای کاربردهای مجتمع‌سازی بسیار مناسب هستند و برای پیاده‌سازی افزاره‌های تمام نوری مانند جمع‌کننده‌ها بسیار موردتوجه پژوهشگران قرار گرفته‌اند [۱-۲].

۲- تحلیل ساختارها و شبیه‌سازی

در مکانیسم اصلی ساختارها برای عملکرد صحیح و بهبود نتایج از نقص‌های نقطه‌ای و خطی برای ایجاد تداخل‌های سازنده و مخرب و طراحی موج‌برهایی نظیر Y و T شکل و کاواک تشدیدگر حلقوی جهت تقسیم مساوی توان سیگنال‌های دریافتی به دو پورت خروجی و انتقال بیشترین مقدار توان ورودی به خروجی استفاده شده است. آنالیز و شبیه‌سازی با استفاده از روش تفاضل متناهی در حوزه زمان (FDTD) و بسط امواج تخت (PWE) در محیط نرم‌افزار Rsoft و Lumerical انجام شده است.

جمع‌کننده نوری مبتنی بر اتصال Y

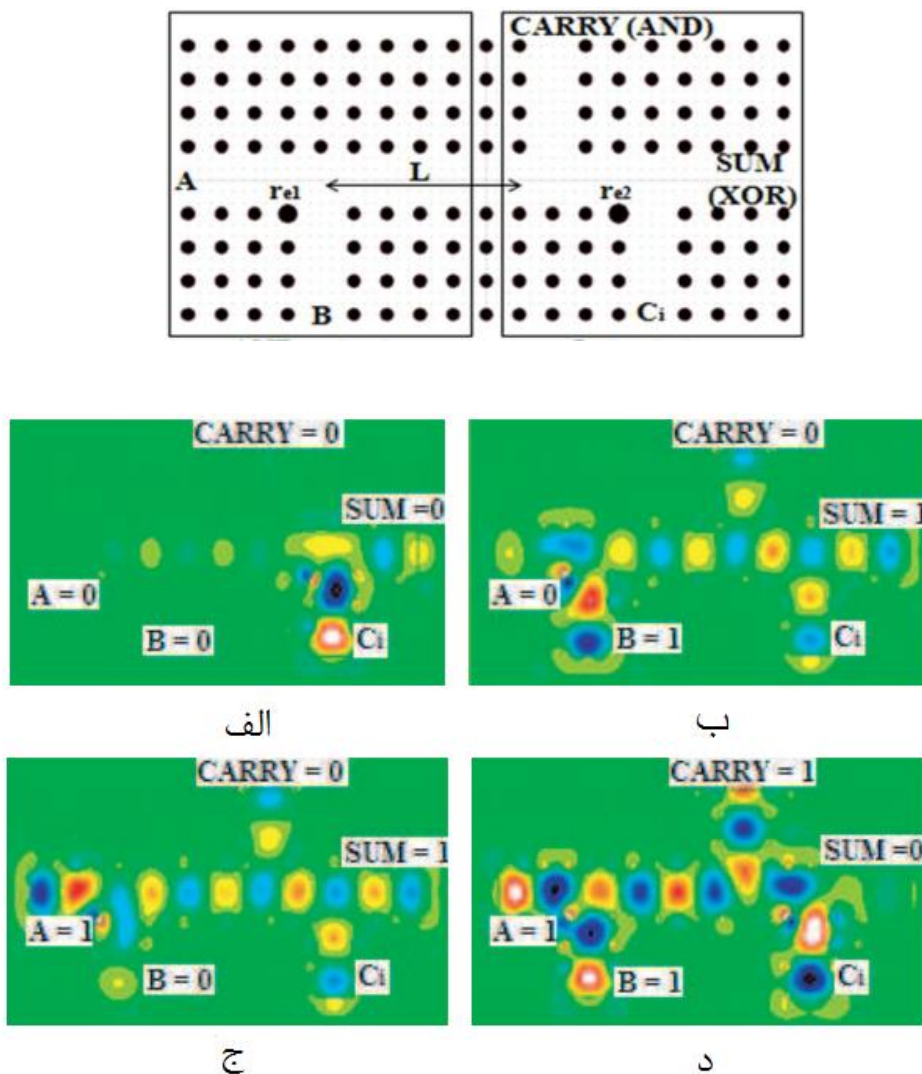
یک نیم جمع‌کننده تمام نوری بر پایه بلورهای فوتونی با شبکه دوبعدی شش ضلعی با استفاده از دو موج‌بر Y شکل بدون مواد غیرخطی که در شکل ۱ طراحی و شبیه‌سازی شده است. تداخل سازنده و مخرب پرتوهای نوری و قرارگرفتن میله‌هایی با شعاع و ضریب شکست متفاوت در محل اتصال دو موج‌بر به یکدیگر مکانیسم اصلی ساختار پیشنهادی است. برای ساختار پیشنهادی، نسبت کنتراست روشن به خاموش برای Sum و Carry به ترتیب ۵٫۸dB و ۳٫۲۵۸ dB است. همچنین ابعاد ساختار پیشنهادی ۱۴۸ میکرو مترمربع است [۴].



شکل ۱: طراحی و شبیه‌سازی ساختار نیم جمع‌کننده بلور فوتونی بر اساس اتصال Y [۴]

جمع‌کننده نوری مبتنی بر اتصال T

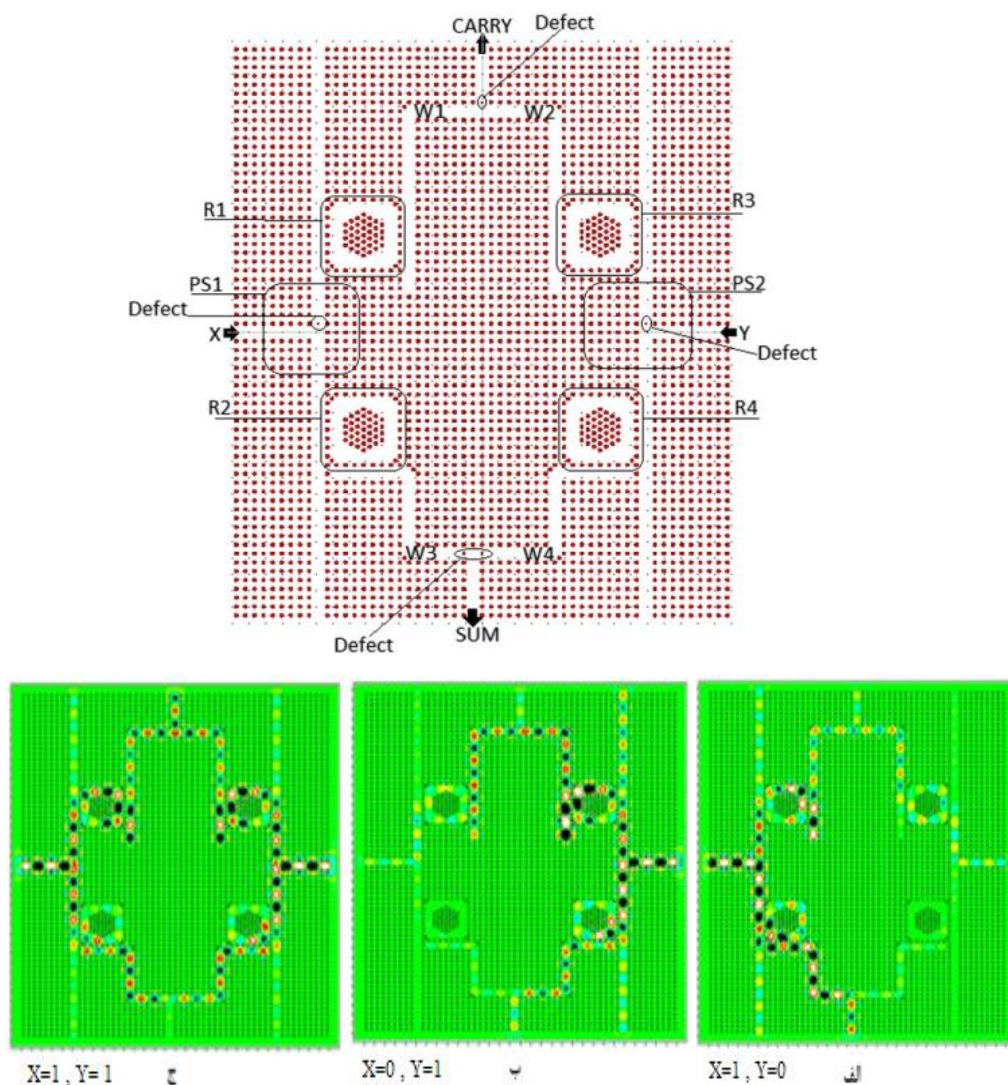
یک نیم جمع‌کننده تمام نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی را با استفاده از دو موج بر T شکل بدون مواد غیرخطی کر در شکل ۲ طراحی و شبیه‌سازی شده است. یکی از آن‌ها به عنوان یک دروازه And عمل می‌کند و دیگری، خروجی دروازه Xor را با استفاده از کنترل فاز ورودی برای تولید Sum و Carry کنترل می‌کند. تفاوت مسیر مبتنی بر الگوی تداخل، نوع منطق خروجی تولیدشده در پورت Sum و Carry را تعیین می‌کند. زمان پاسخ نیم جمع‌کننده پیشنهادشده ۰,۴۸ پیکوثانیه با حداقل نسبت کنتراست روشن به خاموش ۶,۶۷ dB و ۳,۱۹ dB برای خروجی (Sum)Xor و And(carry) است. علاوه بر این، ابعاد ساختار ۱۳۰ میکرو مترمربع و عملکرد ساختار پیشنهادی در C-band تا ۱۵۵۰ نانومتر ثابت است [۵].



شکل ۲: طراحی و شبیه‌سازی ساختار نیم جمع‌کننده بلور فوتونی بر اساس اتصال T [۵]

جمع‌کننده نوری مبتنی بر تشدیدگر حلقوی

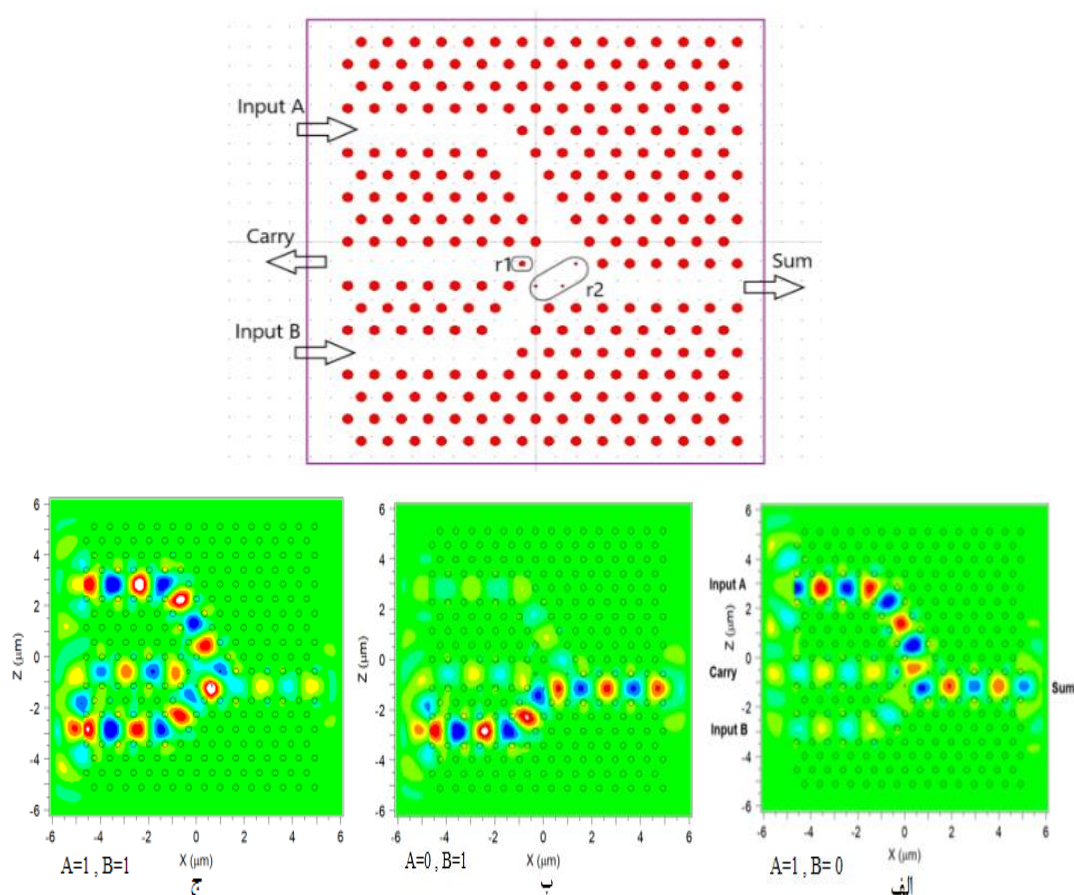
یک ساختار نوری برای تحقق ساخت یک نیم جمع‌کننده با استفاده از چهار تشدیدگر حلقوی بدون استفاده از اثر غیرخطی کر در شکل ۳ طراحی و شبیه‌سازی شده است. تداخل سازنده و مخرب پرتوهای نوری مکانیسم اصلی کار ساختار پیشنهادی است. باتوجه به تفاوت طول مسیر در موج‌برهای ورودی، اختلاف فاز موردنیاز در محل اتصال دروازه‌های Xor و And را ایجاد می‌کند. برای ساختار پیشنهادی، نسبت کنتراست روشن به خاموش برای Sum و Carry به ترتیب ۹,۷۷ dB و ۶,۹۸ dB است. همچنین زمان تأخیر و مساحت ساختار پیشنهادی به ترتیب حدود ۴ پیکو ثانیه و ۱۰۵۶ میکرو مترمربع است [۶].



شکل ۳: طراحی و شبیه‌سازی ساختار نیم جمع‌کننده بلور فوتونی بر اساس تشدیدگر حلقوی [6]

جمع‌کننده نوری مبتنی بر ترکیب موج‌برهای خطی

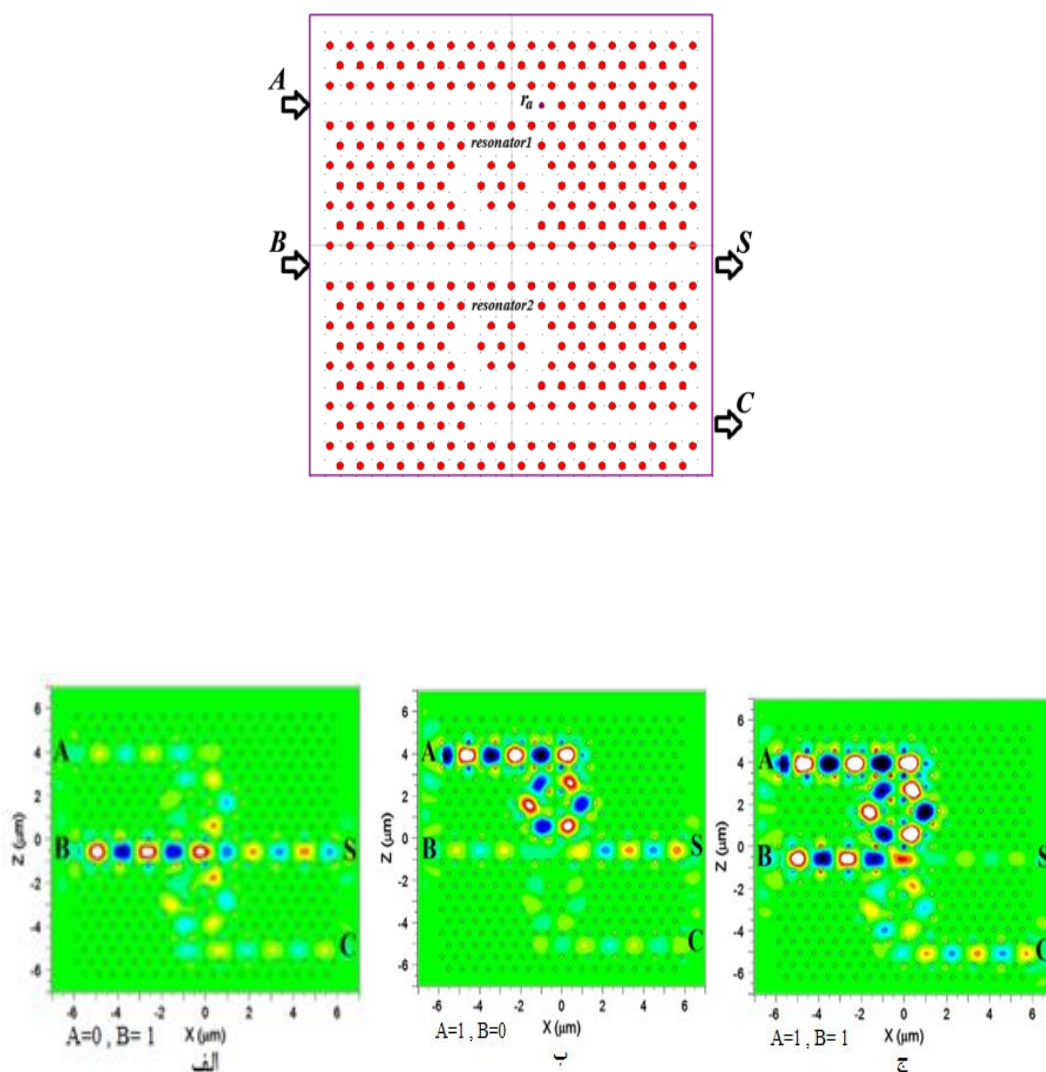
یک نیم جمع‌کننده تمام نوری بر پایه بلورهای فوتونی با شبکه دوبعدی شش ضلعی با استفاده از ترکیب موج‌برهای خطی به شکل چنگال بدون مواد غیرخطی کر در شکل ۴ طراحی و شبیه‌سازی شده است. مکانیسم اصلی ساختار پیشنهادی ایجاد نقص‌ها برای تولید موج‌برها و تداخل امواج پرتوهای نوری با حذف و قرارگرفتن میله‌هایی با شعاع متفاوت در محل اتصال موج‌برها به یکدیگر است. برای ساختار پیشنهادی، نسبت کنتراست روشن به خاموش برای Carry و Sum به ترتیب ۰٫۹ dB و ۸٫۲۲ dB است، زمان پاسخ‌دهی ۰٫۲۲ پیکو ثانیه و همچنین ابعاد ساختار پیشنهادی ۱۳۷٫۵۵ میکرو مترمربع است [۷].



شکل ۴: ساختار نیم جمع‌کننده بلور فوتونی بر اساس تشدیدگر حلقوی [۷]

جمع‌کننده نوری مبتنی بر تشدیدگر حلقوی

یک ساختار نوری برای تحقق ساخت نیم جمع‌کننده با استفاده از دو تشدیدگر حلقوی و ۳ موج‌بر خطی بدون استفاده از اثر غیرخطی در شکل ۵ طراحی و شبیه‌سازی شده است. مکانیسم اصلی کار ساختار پیشنهادی به این‌گونه است که نور با طول موج مناسب وارد موج‌بر می‌شود به درون حلقه کوپل شده و تداخل سازنده سبب تشدید موج گشته و وارد موج‌بر بعدی می‌گردد. برای ساختار پیشنهادی، نسبت کنتراست روشن به خاموش برای Carry و Sum به ترتیب ۵,۱۱ dB و ۵,۰۲ dB است. همچنین زمان تأخیر و مساحت ساختار پیشنهادی به ترتیب حدود ۱,۵ پیکو ثانیه و ۱۵۳ میکرو مترمربع است [۸].



شکل ۵: طراحی و شبیه‌سازی ساختار نیم جمع‌کننده بلور فوتونی بر اساس تشدیدگر حلقوی [۸]

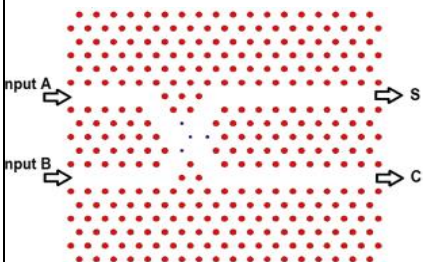
۳- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

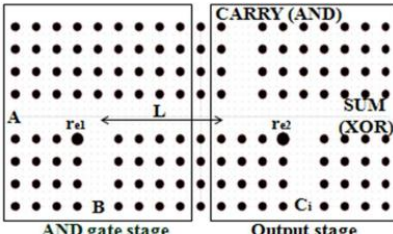
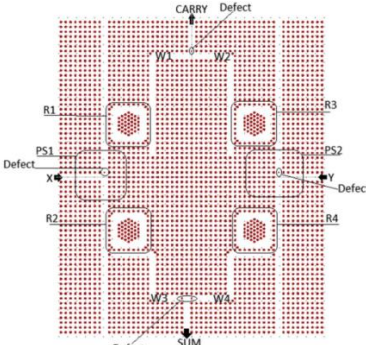
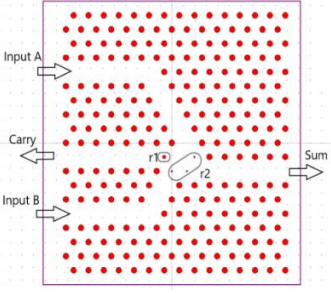
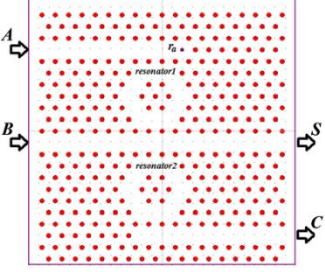
با مقایسه ساختار پیشنهادی مقالات سال‌های اخیر که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، مقالات دارای ساختارها مربعی و شش‌ضلعی یا مثلثی مبتنی بر بلور فوتونی بسیار ساده هستند که با ایجاد نقص‌های بلور فوتونی موج‌برهای تشدیدگر حلقوی، T و Y شکل طراحی شده‌اند. پارامترهای حائز اهمیت در جمع‌کننده‌ها نظیر ابعاد، حداقل نسبت روشن به خاموش برای دروازه‌های منطقی Xor، And و سرعت پاسخ‌دهی مورد بررسی قرار گرفته است. مزایای بارز جمع‌کننده‌ها سادگی ساختار، ابعاد کوچک، سرعت پاسخ‌دهی بالا، کاهش هزینه ساخت و افزایش توان خروجی است که باید برای بهبود آن‌ها تلاش کرد.

بدین منظور در طراحی افزاره‌های بلور فوتونی مانند نیم‌جمع‌کننده‌ها برای بهبود ساختار باید به نکات زیر توجه نمود:

- ۱- در طرح‌های پیشنهادی به‌جای استفاده از میله‌های سیلیسیوم در بستر هوا از حفره‌های هوا در بستر سیلیسیم استفاده کنیم؛ زیرا منجر به بهبود عملکرد نیم‌جمع‌کننده خواهد شد و دیگر این که سهولت فرایند ساخت را به همراه خواهیم داشت که هزینه ساخت را کاهش می‌دهد.
 - ۲- تا حد ممکن استفاده از سیال نوری به‌جای تغییر شعاع میله‌ها که باعث کنترل و تنظیم ضریب شکست در بلورهای فوتونی و در نتیجه کنترل مشخصات و خواص قطعه بدون نیاز به تغییر شعاع حفره‌ها یا ایجاد رینگ‌هایی که ساخت آن‌ها ملزم به دقت بالا در فرایند ساخت است، در نتیجه سهولت در فرایند ساخت و کاهش هزینه را به همراه خواهیم داشت.
 - ۳- استفاده از ماده مناسب در ساختار جهت کاهش زمان پاسخ‌دهی و افزایش سرعت سیستم که فرکانس کاری به‌شدت به آن وابسته است.
 - ۴- طراحی موج‌برهای کوچک جهت کاهش ابعاد، تلفات و سرعت پاسخ‌دهی و افزایش سرعت سیستم به شرطی که باعث تغییر اثر تداخل سازنده و مخرب در ساختار پیشنهادی نشود.
 - ۵- استفاده از مواد دارای اثر غیرخطی در میله‌ها و بررسی اثر آن در خروجی جمع‌کننده با رعایت نکات فوق در طراحی افزاره‌های نوری ساختاری بهینه با عملکرد بالا برای مجتمع‌سازی خواهیم داشت.
- از نیم‌جمع‌کننده‌های پیشنهادی دو مرتبه به‌صورت متوالی در ساختار بلور فوتونی استفاده کرد و با دروازه نوری OR در کنار آن‌ها یک تمام جمع‌کننده نوری بسازیم و با استفاده از سایر نقص‌های بلور فوتونی افت توان آن را جبران سازیم.

جدول ۱: مقایسه ساختار جمع‌کننده‌ها

طرح	Sum	Carry	نوع و پیچیدگی ساختار	ابعاد	response time
[4] ۲۰۱۷	dB۵,۰۸	۳,۲۵۸ dB	ساختار مثالی خطی 	$(\mu\text{m})^2$ ۱۴۸	---

[5] ۲۰۱۷	۳,۱۹ dB	۶,۶۷ dB	ساختار مربعی خطی 	$۱۳۰ (\mu\text{m})^2$	۰,۴۸ ps
[6] ۲۰۱۸	۹,۷۷ dB	۶,۹۸ dB	ساختار مربعی خطی پیچیده 	$۱۰۵۶ (\mu\text{m})^2$	۴ ps
[7] ۲۰۱۹	۹,۳ dB	۸,۲۲ dB	ساختار مثلثی خطی 	$۱۳۷,۵۵ (\mu\text{m})^2$	۰,۲۲ ps
[8] ۲۰۲۰	۵,۱۱dB	۵,۰۲dB	ساختار مثلثی حلقوی 	$۱۵۳(\mu\text{m})^2$	۱,۵ps

منابع:

- [1] J. D. Joannopoulos, S. G. Johnson, J. N. Winn, and R. D. Meade, Photonic crystals: molding the flow of light. Princeton university press, 2011.
- [2] S. Noda and T. Baba, Roadmap on photonic crystals. Springer Science & Business Media, 2013.
- [3] M. M. Karkhanehchi, F. Parandin, and A. J. P. N. C. Zahedi, "Design of an all optical half-adder based on 2D photonic crystals," vol. 33, no. 2, pp. 159-165, 2017.
- [4] arkhanehchi, M. Mehdi, F. Parandin, and A. Zahedi, "Design of an all optical half-adder based on 2D photonic crystals." Photonic Network Communications, vol. 33.2, pp. 159-165, 2017.
- [5] Shalk, E. Haq; Rangaswamy, Nakkeeran, "Design of all-optical photonic crystal half adder with T-shaped waveguides using path difference based interference. " Progress in Electromagnetics Research Symposium-Fall (PIERS-FALL), pp. 2596-2602, 2017. IEEE, 2017.
- [6] Serajmohammadi, S. , H. Alipour-Banaei, and F. Mehdizadeh. "Proposal for realizing an all-optical half adder based on photonic crystals." Applied Optics, vol. 57.7, pp. 1617-1621, 2018.
- [7] M. Seifouri, S. Olyaei, , M. Sardari, & A. Mohebzadeh-Bahabady. "Ultra-fast and compact all-optical half adder using 2D photonic crystals." IET Optoelectronics, vol. 13.3, pp. 139-143, 2019.
- [8] F. Parandin, & M. R. Malmir, "Reconfigurable all optical half adder and optical XOR and AND logic gates based on 2D photonic crystals. "Optical and Quantum Electronics, vol. 52.2, pp. 56, 2020

Analyzing and simulating the structure of optical semiconductors based on photonic crystals and providing suggestions to improve performance in optical integrated circuits.

Mohammad Maghsoudi

Abstract

In this article, the analysis and investigation of optical collectors with low power consumption and high efficiency based on photonic crystals with a triangular and square structure made of silicon rods in the air bed without using the nonlinear Kerr effect has been discussed. For the desired structures, important parameters such as the on-off contrast ratio for Sum and Carry and the response time as well as the dimensions of the structure have been examined and compared and suggestions for their improvement have been presented .

Keywords: photonic crystal, optical semiconductors, optical integrated circuits