بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۴-۱۲ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

طراحی ایزولاتور نوری در بستر بلورفوتونی خطی و تزریق سیال غیر خطی نوری

زهرا رضایی علی آباد[۱]، محمد کاظم مروج فرشی[۱]، فخرالدین نظری[۲]

۱- دانشگاه تربیت مدرس تهران، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

۲-دانشگاه تخصصی فناوری های نوین آمل، دانشکده مهندسی فناوری نوین

چکیده- در این مقاله یک ایزولاتور تمام نوری با تزریق سیال غیرخطی نوری در ساختار بلور فوتونی خطی طراحی و شبیه سازی شده است. بلور فوتونی دارای شبکه شش ضلعی از حفره‌های هوا در بستر سیلیکون خطی است. برای ایجاد انتقال نامتقارن (ایزولاتور نوری) به کمک ساختارهای غیرخطی باید تقارن ساختار شکسته شود. این امر برای اولین بار با تزریق سیال غیرخطی در حفره‌های هوای ساختار بلور فوتونی طراحی شده، که دارای مسیر موجبری نامتقارن مکانی است ایجاد شد. غیر خطیت این سیال ها از نوع غیر خطیت کر است. نتایج نشان داد که با استفاده از این ساختارغیرفعال ساده که قابلیت مجتمع سازی را در مدارهای مجتمع نوری دارد، می‌توان به اختلاف نرخ گذردهی بسیار مطلوب برابر با ۲۷/۹۲ dB در طول موج پنجره C مخابرات نوری یعنی ۱۵۵۰/۳۸ nm دست‌یافت. از مزیت‌های این ساختار غیرفعال مجتمع این است که میزان انتقال نور در مسیر برگشت در طول موج مذکور برابر با ۱۲/۵۸dB- است که برای ساختارهای غیرفعال مقدار بسیار خوبی است.

کلید واژه- ایزولاتورنوری، بلورفوتونی، وارون ناپذیری، غیرخطیت کر

Design of optical isolator based on photonic crystal by nonlinear optofluid Infiltration

Zahra Rezaei Aliabad[1], Mohammad Kazem Moravvej Farshi[2], Fakhrodin Nazari[3]

1- Faculty of electronic and computer, Tarbiat Modares Univercity
2- Faculty of Modern Technologies, Amol Univercity Of Special Modern Technologies

Abstract- In this article, we design and simulate an isolator based on linear photonic crystal by nonlinear optofluid infiltration. The necessary condition for having asymmetric transmission (optical isolator) for nonlinear structure, is broken symmetry. for the firs time, we do this by infiltrate nonlinear (Kerr) optofluids in selective holes. The results show that, with this passive simple structure we can reach to desirable nonreciprocal transmission rate (27/92dB) at 1550/38nm wavelength. The power of light is 2/4mW. The transmission of light for backward direction at this wavelength, is -12/58dB. that is good for passive structure. In addition to the reconfigurable of this isolator, it is integrated cause of its small area. This isolator, designed whit two-dimensional hexagonal lattice photonic crystal; consist of holes in linear silicon. Lattice constant and radius of airs respectively is a=420nm and r=0.3a.

Keywords: Optical isolator, Photonic crystal, Nonreciproal Transmission, Kerr nonlinearity

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2024-03-28]

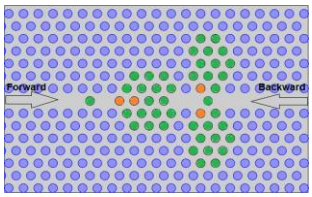
۱- مقدمه

ایزولاتور نوری افزاره‌ای وارون ناپذیر است که سبب انتشار یکطرفه نور می‌شود. طراحی و ساخت آن بر اساس ساختارهای ساده تمام نوری با قابلیت مجتمع سازی می‌تواند مسیر روشنی برای دست یافتن به مدارهای پرسرعت را رقم بزند. تا به امروز برای تحقق انتشار یک طرفه نور روش‌های متفاوتی پیشنهاد شده است مانند استفاده از روش مگنتو-اپتیک (اثر فارادی)[۱-۲]. ساختارهای موجود بر این اساس قابلیت مجتمع شدن را ندارند. وجود میدان مغناطیسی قوی نیز در این روش موجب تاثیرپذیری افزاره‌های مجاور و اختلال در عملکرد آن‌ها می‌شود[۳-۴]. روش‌های دیگری مانند استفاده از مواد غیرخطی[۵-۶]، استفاده از اثرات اپتو-اکوستیک[۷] و استفاده از دیسک‌های فعال[۸] را می‌توان از دیگر راه‌های طراحی ساختارهای با گذردهی نامتقارن نام برد که پیچیدگی این ساختارها، خود چالش آفرین بوده و هزینه ساخت را بالا می برد. اساس استفاده از روش‌های غیرخطی برای تحقق ایزولاتور نوری شکستن تقارن مکانی است. یکی از ساختارهای پیشنهادی برای شکستن تقارن مکانی استفاده از ساختار بلورهای فوتونی است. ساختارهای متفاوت بر اساس ساختار بلور فوتونی پیشنهاد شده است[۹-۱۰]، که مشکلات این ساختارها، استفاده از نقص‌های پیچیده و وابستگی زیاد به کوچکترین تغییر در ساختار می‌باشد که اطمینان پذیری به ساختار را کاهش می‌دهد. از ساختارهای دیگری که برای شکستن تقارن ارائه شدند می‌توان ساختارهای ناهمگون بلور فوتونی که دارای فصل مشترک هستند[۱۱-۱۲] و یا از چیدمان نامتقارن میله‌ها[۱۳]، را نام برد که هنوز چالش مجتمع سازی این افزاره‌ها به طور کامل از بین نرفته است. اخیرا طراحی‌های دیگری در بستر بلورفوتونی با استفاده از کاواک های با حجم مود کم و اثر غیر خطیت[۱۴] انجام شده که در مقایسه با طراحی پیشنهادی در این پژوهش، دارای اختلاف نرخ گذردهی کمتر هستند.

در این تحقیق با استفاده از یک ساختار ساده بلورفوتونی با شبکه شش ضلعی حفره‌های هوا در بستر سیلیکون و به کمک تزریق دو سیال غیرخطی در حفره‌های انتخابی، ایزولاتوری تمام نوری با اختلاف نرخ گذردهی مطلوب برابر با ۲۷/۹۲dB طراحی کردیم که اگرچه در مقایسه با مقاله مرجع[۱۰] اختلاف نرخ گذردهی به میزان تقریبا ۷dB کمتر شده است، اما علاوه بر طراحی و قابلیت ساخت بسیار ساده، نرخ گذردهی بهتری نیز دارد. همچنین این ساختار در پنجره C تعریف شده در مخابرات نوری، که دارای تلفات کمتری است، عمل می‌کند. در شبیه‌سازی این تحقیق، برای یافتن مدهای قابل انتشار در ساختار از روش بسط موج تخت[۱۵] و برای محاسبه میزان گذردهی و انتشار از روش تفاضل محدود در حوزه فرکانس[۱۶] استفاده شده است.

۲- طراحی ساختار و روش‌ها

ساختار بلور فوتونی با شبکه شش ضلعی از حفره‌های هوا در بستر سیلیکون خطی را در نظر بگیرید که ضریب شکست موثر سیلیکون برابر۲/۸۹، ثابت شبکه و شعاع حفره‌ها برای این ساختار به ترتیب برابر با a=۴۲۰nm و r =۰/۳a است. مسیر موجبری با حذف تعدادی از حفره‌ها از مرکز ساختار کامل شش ضلعی بلور فوتونی شرح داده شده، ایجاد شده است. برای ایجاد خاصیت ایزولاتوری، تزریق سیال های غیر-خطی در حفره‌های انتخابی صورت گرفته است. ضریب شکست سیال‌ها تابعی از شدت نور می‌شود و از رابطه $n= n_0 + n_2 |I|$ بدست می‌آید، که در آن n_0 ضریب شکست اولیه بستر، n_2 ضریب غیرخطی کر و I شدت نور گذرنده از ساختار است. . ضریب غیر خطی کر برای این سیال‌ها برابر ۲×۱۰^{-۱۱} esu است. معادلات ماکسول نیز حاکم بر رفتار قطعه هستند.



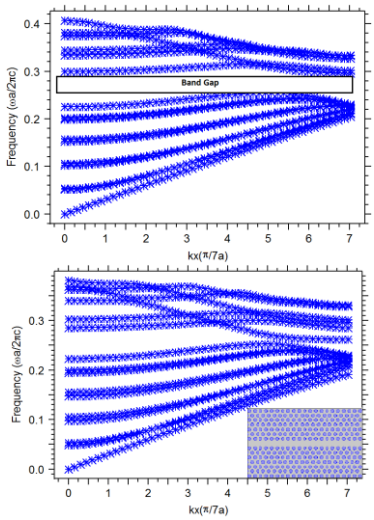
شکل ۱: ساختار ایزولاتور نوری با بستر بلورفوتونی سیلیکونی شامل شبکه شش ضلعی از حفره‌های هوا با ثابت شبکه a =۴۲۰nm و شعاع r =۰/۳a . دایره‌های سبز و نارنجی به ترتیب سیال غیرخطی با ضریب شکست ۱/۹۵ و ۱/۷۵ هستند.

شکل ۱ ساختار ایزولاتور نوری مورد نظر ما را نشان می‌دهد. این ساختار متشکل از دو درگاه چپ و راست است. در مسیر موجبر دو کاواک از چپ به راست با قرار دادن چند حفره ایجاد می کنیم. کاواک اول با حذف یک حفره و کاواک دوم با حذف دو حفره، به ترتیب ایجاد گردید. حال با تزریق سیال غیرخطی به حفره‌های اطراف مطابق شکل با ضرایب

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2024-03-28]

شکست ۱/۹۵ و ۱/۷۵ که به ترتیب با رنگ‌های سبز و نارنجی نشان داده شده است ساختار را در مسیر رفت و برگشت به صورت نامتقارن طراحی می‌کنیم. همانطور که در بخش نتایج خواهیم دید، به دلیل عدم تشابه مسیر رفت با برگشت و خاصیت غیرخطی کر رفتار گذردهی نامتقارن ایجاد گردد. شکل ۲ منحنی پاشندگی را برای ساختار بلور فوتونی شکل ۱، درحالت (الف) شبکه کامل و (ب) با حضور نقص خطی، برای موج الکترومغناطیسی با قطبیدگی الکتریکی عرضی (TE) نشان می‌دهد، که با استفاده از روش PWE شبیه سازی شده است.



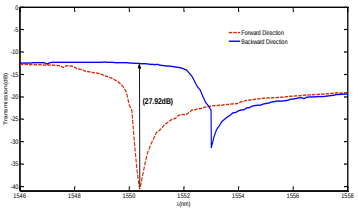
شکل ۲: منحنی پاشندگی برای بلورفوتونی (الف) کامل (ب) با حضور نقص خطی، که از حفره‌های هوا درسیلیکون با شبکه شش ضلعی با ثابت شبکه a =۴۲۰ nm و شعاع حفره‌های هوا r =۰/۳a متشکل شده است

همانطور که در شکل ۲(ب) مشاهده می‌شود با حضور نقص خطی(حذف یک ردیف از حفره‌ها) طول موج هایی که در پنجره C مخابرات نوری تعریف شده‌اند اجازه انتشار در این ساختار را پیدا می‌کنند.

۳- نتایج شبیه‌سازی

شکل ۳ رفتار گذردهی نور را بر حسب طول موج با روش شبیه سازی المان محدود در حوزه فرکانس برای ساختار شکل ۱ با توان ورودی ۲/۴ mW نشان می‌دهد. شکل موید این نتیجه است که حول طول موج ۱۵۵۰/۳۸ نانومتر یک دره در طیف گذردهی در مسیر رفت ایجاد می‌گردد که در مسیر برگشت (ورودی از درگاه راست) این دره یک شیفت قرمز به طول موج بالاتر می‌یابد. علت این پدیده، وجود سیال‌های نوری غیرخطی در ساختار حول کاواک‌ها است که در حالتی که نور از درگاه راست وارد می‌شود به محض ورود به موجبر شروع به انتشار در موجبر می‌کند و بدون پراکندگی و تلفات زیاد، وارد کاواک سمت بزرگتر (سمت راستی) می‌گردد و در اثر تشدید، شدت آن زیاد می‌شود. نتیجه این امر سبب می‌گردد که طول موج به تله افتاده یک شیفت به سمت طول موج‌های بالاتر پیدا کند. از طرفی، وقتی نور از سمت چپ (مسیر رفت) وارد موجبر می‌شود ابتدا وارد کاواک اول (که طول موج تشدید آن با طول موج تشدید کاواک بزرگتر (۱۵۵۰) متفاوت است) و سپس در اثر برخورد با حفره‌های تزریق شده با سیال‌های دیگر در مسیر انتشار، دچار پراکندگی بیشتر و در نتیجه شدت نور و اثر غیرخطی کمتر می‌گردد. که نتیجه همه این پدیده‌های فیزیکی منجر به گذردهی نامتقارن می‌شود. طبق شکل ۳ در طول موج ۱۵۵۰/۳۸ مقدار گذردهی برای این طول موج در مسیر برگشت ۱۲/۵۸ dB- است که مقدار بسیار مطلوبی است. درحالی که برای ساختارهای ایزولاتوری متشکل از مواد غیرفعالی که تاکنون ارایه شده این مقدار بالای ۳۵ dB- می‌باشد[۱۷]. مقدار گذردهی برای مسیر برگشت در طول موج مذکور ۴۰/۵dB- است و اختلاف نرخ انتقال برابر ۲۷/۹۲ dB می باشد.

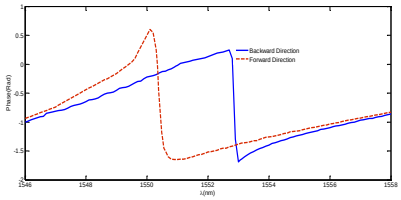
پدیده جالب مشاهده شده دیگر در شکل، وجود گذردهی نامتقارنی حول طول موج‌های تشدید در منحنی‌های انتقال برای هر دومسیر رفت و برگشت است که علت آن پدیده تشدید فانو[۱۸] می‌باشد. برای اینکه از صحت حضور پدیده فانو اطمینان یابیم رفتار منحنی فاز را در ساختار شکل ۴ نشان داده‌ایم. طبق انتظار در حول طول موج تشدید یک تغییر فاز شدید مشاهده می‌شود که این امر موید حضور تداخل ویرانگر و حضور پدیده فانو است[۸]. شکل ۵ پروفایل توزیع میدان در مسیرهای رفت (الف) و برگشت (ب) را برای ساختار شکل ۱ نشان می‌دهد.



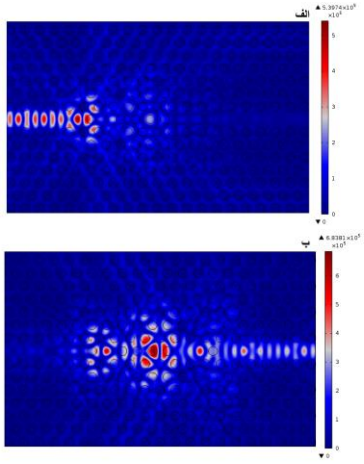
شکل ۳: مقدار انتقال موج در ساختار ایزولاتور شکل ۱ در خروجی برای مسیرهای رفت (ورودی از درگاه چپ) و برگشت(ورودی از درگاه راست)

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2024-03-28]



شکل ۴: فاز خروجی برحسب رادیان برای طیف گذر مسیرهای رفت و برگشت شکل۳



شکل ۵: پروفایل توزیع میدان برای ساختار شکل ۱ در حالت الف)ورودی از چپ و ب) ورودی از راست در طول موج ۱۵۵۰/۳۸ نانومتر

۴- نتیجه‌گیری

برای اولین بار در این مقاله ایزولاتور تمام نوری با استفاده از تزریق سیال غیرخطی در حفره‌های یک ساختار بلورفوتونی با شبکه شش ضلعی، دارای بستر سیلیکونی طراحی وشبیه سازی شد. این ساختار توانایی ایزوله‌کردن سیگنال نوری با توان ورودی پایین ۲/۴ mW با اختلاف نرخ گذردهی dB ۲۷/۹۲ را دارا می باشد. به کمک پدیده تشدید فانو گذردهی در مسیر رفت برای طول موج ۱۵۵۰/۳۸ نانومتر به زیر dB ۱۳- رسیده است. این ایزولاتور یک عنصر غیرفعال است که ساخت بسیار ساده‌ای دارد. ازآنجا که برای ایجاد خاصیت ایزولاتوری از تزریق سیال در حفره‌های هوا استفاده شده این افزاره قابل بازسازی می‌باشد و همینطور سیال های استفاده شده در دسترس می‌باشند. از دیگر مزیت‌های این ایزولاتور، کوچک بودن مساحت آن است که می‌توان از آن در مدارهای مجتمع نوری استفاده کرد.

مراجع

[1] G.R. Fowles, *Introduction to Modern Optics*, Holt, Rhinehart, Winston, 1975.

[2] F. Jenkins, H. White, *Fundamentals of Optics*, Mcgraw-Hill College, 1976.

[3] H. Takeda, S. John, "Compact optical one-way waveguide isolators for photonic-band-gap microchips" , Phys. Rev., Vol. 78, pp. 023804, 2008.

[4] Z. Wang, Y.D. Chong, J.D. Joannopoulos, M. Solja, "Reflection-Free One-Way Edge Modes in a Gyromagnetic Photonic Crystal", Phys. Rev. Lett., Vol. 100, pp. 013905, 2008.

[5] S. Lepri, G. Casati, "Asymmetric wave propagation in nonlinear systems", Phys. Rev. Lett., Vol. 106, pp. 164101, 2011.

[6] F. Nazari, F. Samsami-Khodadad, "On chip optical isolator based on non-linear silicon photonic crystal by using asymmetric engineering waveguide', Journal of Modern Optics., Vol. 0, No. 0, pp. 1-6, 2016.

[7] M.S. Kang, A. Butsch, P.S.J. Russell, "Reconfigurable light-driven opto-acoustic isolators in photonic crystal fibre", Nat. Photonics., Vol. 5, pp. 549-553, 2011.

[8] F. Nazari, N. Bender, H. Ramezani,M.K. Moravvej-Farshi, D.N. Christodoulides, T. Kottos, "Optical isolation via PT–symmetric nonlinear Fano resonances", Optics Express., Vol. 22, pp. 9574-9578, 2014.

[9] H. Kurt, D. Yilmaz, A.E. Akosman, E. Ozbay, "Asymmetric light propagation in chirped photonic crystal waveguides", Optic express., Vol. 18, No. 20, pp. 20635- 20646, 2012.

[10] Y. Yu, Y. Chen, H. Hu, W. Xue, K. Yvind, J. Mork, "Nonreciprocal transmission in a nonlinear photonic-crystal Fano structure with broken symmetry", Laser Photonics Rev., pp. 1–7, 2015.

[11] C. Lu, X. Hu, Y. Zhang, Z. Li, X. Xu, H. Yang, Q. Gong, "Ultralow power all-optical diode in photonic crystal heterostructures with broken spatial inversion symmetry", Appl. Phys. Lett., Vol. 99, pp. 051107, 2011.

[12] S. Feng, C. Ren, W. Wang, "All-optical diode based on the self- collimation characteristics of the near-infrared photonic crystal heterojunctions", EPL., Vol. 97, pp. 64001-64005, 2012.

[13] V. Liu, D.A.B. Miller, S. Fan, "Ultra-compact photonic crystal waveguide spatial mode converter and its connection to the optical diode effect", Optic express., Vol. 27, No. 20, pp. 28388-28397, 2012.

[14] Y. Zhang, D. Li, C. Zeng, Z. Huang, Y. Wang, Q. Huang, Y. Wu, J. Yu, J. Xia, "Silicon optical diode based on cascaded photonic crystal cavities", Optic Letters., Vol. 6, No. 39, pp. 1370-1372, 2014..

[15] K. Inoue, K. Ohtaka, *Photonic Crystals: Physics, Fabrication and Aplications*, pp. 274-277, Springer-Verlog, Berlin Heidelburg, 2004.

[16] F. Brechet, *Complete Analysis of the Characteristics of Propagation into Photonic Crystal Fibers, by the* Finite Elemennt Method, Academic Press, 1999.

[17] L. Fan, J. Wang, L.T. Varghese, H. Shen, B. Niu, Y. Xuan, A.M. Weiner, M. Qi, "An all-silicon passive optical diode", Science., Vol. 335, pp. 447-450, 2012.

[18] A.E. Miroshnichenko, S. Flach, Y.S. Kivshar, "Fano resonances in nanoscale structure", Rev. Mod. Phys., Vol. 82, pp. 2257-2298, 2010

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2024-03-28]