بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

رفتار تراگسیل یک سویه از ساختار بلور فوتونی فیبونانچی بر حسب زاویه تابش

زینب صفری[۱]، کاظم جمشیدی قلعه[۲] و مهران قوهستانی[۳]

[۱]گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد داراب

[۲]گروه فیزیک دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، کیلومتر ۳۵ جاده تبریز- مراغه

[۳]گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان

چکیده - در این مقاله، خواص طیف تراگسیل خطی، غیرخطی و توزیع میدان از بلور فوتونی یک بعدی با ساختار سری هشتم فیبونانچی برحسب زاویه تابشی بررسی شده‌اند. در تراگسیل خطی، مد تشدیدی که با افزایش زاویه فرودی به سمت فرکانس‌های بالاتر جابجا می‌شود مشاهده گردید. توزیع میدان داخل لایه‌ها برای زاویه‌های تابشی مایل ناهمسانگرد می‌شود. در نمودارهای تراگسیل غیرخطی، به ازاء زاویه‌های تابشی مختلف حول فرکانس مد تشدیدی برای شدتهای تابشی خاص تراگسیل از راست به چپ و چپ به راست با همدیگر متفاوت هستند. این رفتار می‌تواند در طراحی دیود تمام نوری (عبور یکسویه) از ساختار مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه- بلور فوتونی، ساختار فیبونانچی، تراگسیل یکسویه، دیود تمام نوری

One-way Transmission Behavior from Fibonacci Photonic Crystal Structure with Incident Angle

Zeinab safari, Kazem Jamshidi-Ghaleh and Mehran Ghoohestani

Abstract- In this paper, the properties of linear/nonlinear transmission spectrum and filed distribution in 8-sery of one-dimensional Fibonacci photonic crystal structure with incident angle are investigated. On linear transmission, a resonant mode that shifts to higher frequencies with increasing of incident angled is observed. The filed distribution inside layers of the structure, for oblique incidents, becomes anisotropic. In the nonlinear transmission curves, around of the resonant frequency at different incident angles, the right to left and left to right transmission are different. This behaviour can be used to design all-optical diode (one-way transmission) from the structure.

Keywords: photonic crystal, Fibonacci structures, one-way transmission, all-optical diode.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

۱- مقدمه

یکی از چالش‌های بشر در دنیای امروزی افزایش سرعت در ارسال، دریافت و پردازش اطلاعات می‌باشد. با اینکه امروزه اکثر ارتباطات و انتقال اطلاعات از طریق فیبرهای نوری و به صورت تمام نوری صورت می‌گیرند ولی مراحل ارسال، دریافت و پردازش اطلاعات با ابزارهای الکترونیکی که اساس کار آنها حرکت الکترون است صورت می‌پذیرد. تبدیل سیگنال‌های الکتریکی به سیگنال‌های نوری در مبدأ و برعکس در مقصد، باعث کاهش سرعت و دقت انتقال اطلاعات می‌شود. در راستای تحقق این اهداف، طراحی ساختارهای اپتیکی ضرورت پیدا می‌کند. یکسوکننده‌های تمام نوری یکی ابزارهای اساسی در طراحی پردازشگرهای فوق سریع نسل بعد می‌باشد [۱-۴]. یک دیود تمام نوری وسیله‌ی یکسوسازی است که در حالت ایده‌ال، برای نوری با طول موج و شدت خاص اجازه‌ی عبور در یک جهت را به طور کامل داده ولی از عبور آن در جهت مخالف به طور کامل جلوگیری می‌کند [۵]. در این مقاله، ساختار بلور فوتونی فیبونانچی مرتبه ۸ در نظر گرفته[۶] اثر زاویه تابشی را روی رفتار طیف تراگسیل خطی، غیرخطی و توزیع میدان در داخل لایه های ساختار را برای حالت قطبش TE میدان فرودی بررسی کرده‌ایم.

۲- مدل و روش

سری nام ساختار شبه متناوب فیبوناچی با $S_1 = A$ و $S_2 = AB$ از رابطه $S_n = S_{n-1}S_{n-2}$ بدست می‌آید که در آن A و B لایه‌های تشکیل دهنده شاحتار را نمایش می‌دهند. در این مقاله، از روش ماتریس انتقال غیرخطی استفاده شده است. مطابق با این روش تراگسیل از یک لایه با ماتریس زیر داده می‌شود[۷-۸]:

$$M = \frac{k_0}{k_+ + k_-}\begin{pmatrix} \frac{k_-}{k_0}\exp(-ik_+d) + \frac{k_+}{k_0}\exp(ik_-d) & \exp(-ik_+d) + \exp(ik_-d) \\ \frac{k_-k_+}{k_0^2}[\exp(-ik_+d) - \exp(ik_-d)] & \frac{k_+}{k_0}\exp(-ik_+d) + \frac{k_-}{k_0}\exp(ik_-d) \end{pmatrix} \quad (۱)$$

که در آن d ضخامت لایه و k_+، k_- به ترتیب ثابت‌های انتشار موج راست رو و چپ رو در لایه هستند که با رابطه زیر داده می‌شوند:

$$k_\pm = k_\circ n\sqrt{1+\chi^{(3)}(|\xi_\pm|^2 + 2|\xi_\mp|^2)} \quad (۲)$$

دراینجا، $\chi^{(3)}$ ضریب غیرخطیت مرتبه سوم، $k_\circ = \omega/c$ و $\xi_\pm$ دامنه میدان‌های راست رو و چپ و n ضریب شکست خطی لایه هستند. ماتریس انتقال کل ساختار از حاصل ضرب ماتریس انتقال تک تک لایه‌ها بدست آمده، تراگسیل کل، با رابطه‌ی زیر داده می‌شود

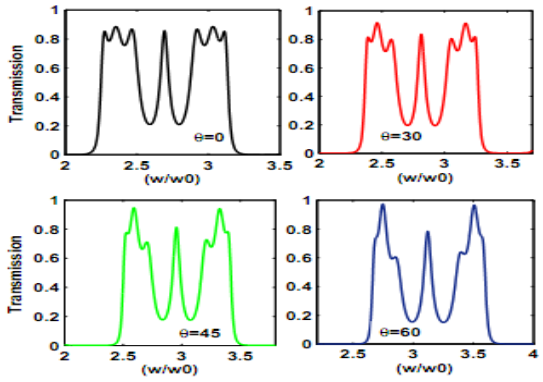
$$T = \left|\frac{2n_0}{(m_{11}+m_{12}n_0)n_0 + (m_{21}+m_{22}n_0)}\right|^2 \quad (۳)$$

در این رابطه m_{ij}ها عناصر ماتریس انتقال کل و $n_\circ$ ضریب شکست محیط اطراف ساختار است. شدت تراگسیلی U_t از رابطه $U_{in} = \frac{U_t}{T}$ بدست می‌آید که در آن u_{in} شدت تابشی است.

۳- نتایج شبیه سازی و بحثها

در محاسبات عددی، ضریب شکست محیط غیرخطی A به صورت $n_A^{(NL)} = n_A[1+\chi_A^{(3)}|E_z|^2/2]$ که در آن $n_A = ۱.۵۵$ قسمت خطی ضریب شکست و $\chi_A^{(3)} = 2.5\times10^{-5}(cm^2/MW)$ ضریب غیرخطیت هستند وارد شده است. لایه B ماده دی- الکتریک با ضریب شکست $n_B = ۲.۳$ در نظر گرفته شده‌است. طول موج طراحی $\lambda = ۷۰۰nm$ و ضخامت لایه‌های A وB ربع طول موج یعنی: $n_Ad_A = n_Bd_B = \lambda/۴$ اختیار شده‌اند.

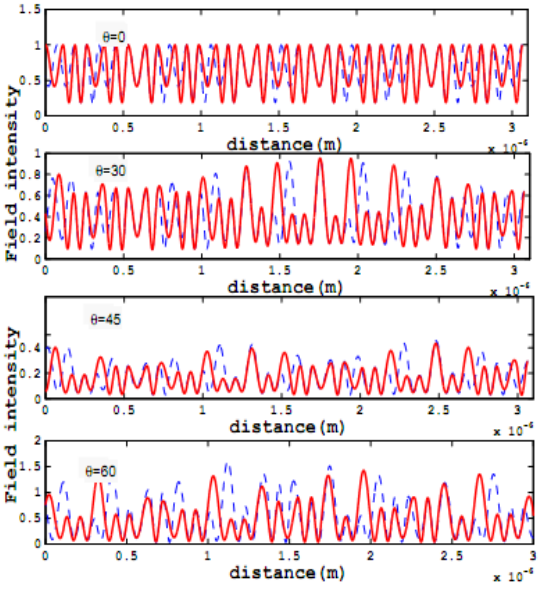
شکل-۱، طیف تراگسیلی خطی ساختار را که شامل ۳۴ لایه است، برای زاویه‌های تابشی ۰°,۳۰°,۴۵°و۶۰° حالت قطبش TE، در محدوده فرکانسی ۲ تا ۴ برابر فرکانس طراحی، نشان می‌دهد. همان طوری که مشاهده می‌شود، با افزایش زاویه فرودی طیف تراگسیلی به سمت فرکانس‌های بیشتر (طول موج‌های کوتاهتر) جابه جا شده است در صورتی که در بیشینه تراگسیل و پهنای آن تغییر چندانی صورت نگرفته است.



[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

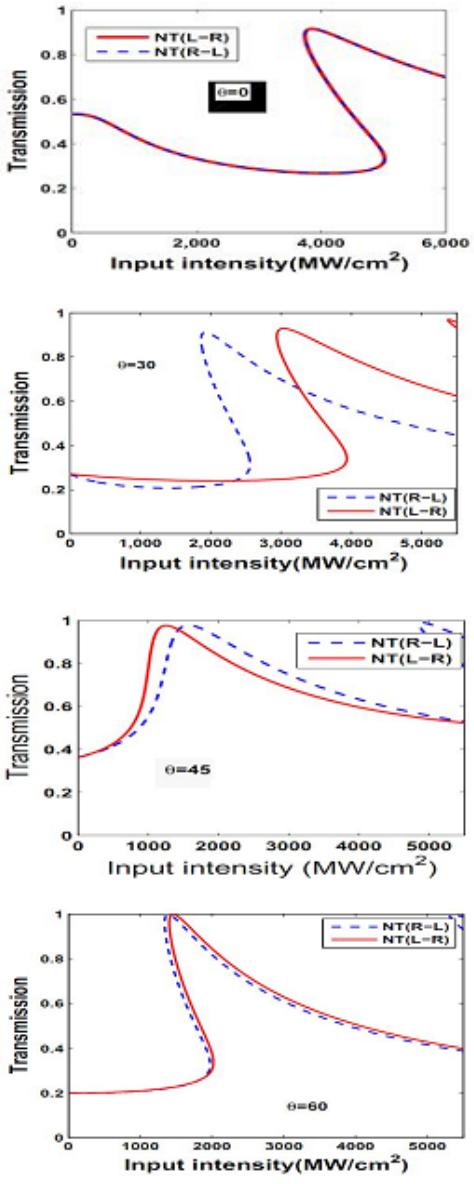
شکل ۱: رفتار طیف تراگسیل در ساختار مرتبه۸ فیبونانچی در زاویه تابش $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$

یکی از شرایط لازم برای اینکه یک ساختار بلورفوتونی رفتار یکسویه از خود نشان دهد این است که توزیع میدان در داخل لایه‌های تشکیل دهنده ساختار نامتقارن باشد، با استفاده از ماتریس انتقال[۷-۸]، توزیع دامنه میدان در لایه های ساختار برحسب فاصله برای زاویه‌های تابشی $0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ در شکل-۲ نشان داده شده‌است. مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه تابش توزیع میدان در ساختار نامتقارن می‌شود. لذا یکی از شرایط تراگسیل یکسویه ارضاء میشود. علاوه بر اینها، عدم تقارن فضایی در خود ساختار از شرایط تراگسیل یکسویه است.



شکل ۲: توزیع میدان در داخل ساختار برای زاویه تابشی مختلف

برای اثبات گفته‌های خود، نمودارهای دوپایایی (تراگسیل غیرخطی) برای تابش از سمت راست به چپ(نمودار خط چین آبی رنگ برای فرود از سمت راست) و نمودارهای دوپایایی از چپ به راست (نمودارهای قرمز برای فرود از سمت راست است) را با استفاده از ماتریس انتقال رسم نموده ایم[۷-۸] (نمودارهای شکل-۳). مشاهده می‌شود وقتی تابش عمودی است (زاویه صفر درجه) نمودار دوپایایی برای فرود از سمت راست و چپ برهم منطبق شده‌اند ولی برای زاویه فرودی مایل نمودارهای تراگسیل برای فرود از سمت راست و چپ بر هم منطبق نشده است. این تفاوت بیانگر این است که ساختار فیبونانچی مرتبه ۸ با افزایش زاویه تابش دارای رفتار یکسویه است. علت این جابجایی در تغییر دینامیکی ضریب شکست وابسته به شدت در لایه‌های غیرخطی A است که به نوبه خود باعث تغییر راه نوری و شرط براگ شده است.در واقع برای حالت قطبش TE تحت تابش مایل با افزایش زاویه تابش، اندازه تصویر میدان الکتریکی در راستای تناوب لایه ها تغییر کرده میزان تغییرات ضریب شکست را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

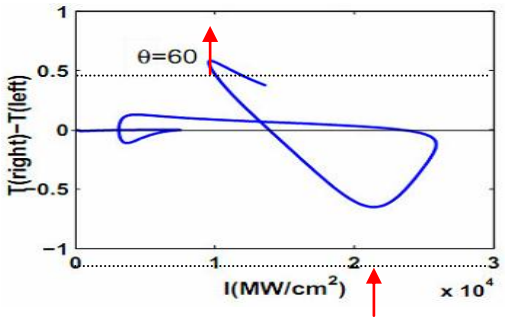


شکل-۳ نمودارهای دوپایایی (تراگسیل غیرخطی) برای فرود از سمت چپ به راست (خط چین آبی) و فرود از سمت راست به چپ (قرمز پر) برای زاویه‌های تابشی، ۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

همچنین در نمودارهای شکل-۳ مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه تابشی، رفتار ترگسیل دوپایایی (فرود قائم) به چندپایایی نوری تبدیل می‌شود. علت این امر نیز در افزایش راه نوری برای تابشهای مایل است.

برای اینکه اختلاف بین تراگسیل‌های راست به چپ و چپ به راست بهتر مشاهده‌شود، در شکل-۴، برای نمونه، اختلاف تراگسیل‌ها برای زاویه تابشی ۶۰ درجه ارائه شده است. قسمتهای منفی نمودار تراگسیل از چپ و قسمتهای مثبت تراگسیل از راست را نشان می‌دهد. مشاهده می شود که برای ساختار ارائه شده و مقادیر عددی در نظر گرفته شده بیشینه تباین حدود۶۰٪ برای تابش راست و چپ به ترتیب در شدتهای تابشی حدود ۱ و ۲/۲ حاصل می‌شود.



شکل-۴. رفتار اختلاف تراگسیل غیرخطی برای تابش از راست به چپ و چپ به راست

همچنین ما برای صحت نتایج ساختار پیشنهادی خود، نتایج بدست آمده از ساختار خود را با ساختارهایی که اخیرا برای طراحی دیود تمام نوری پیشنهاد شده است[۹] مقایسه کرده ایم و مشاهده کردیم که این ساختار تمام شرایط در طراحی دیود تمام نوری را دارد.

۴- این نتیجه گیری

در این کار، اثر زاویه فرودی را بر روی طیف تراگسیل خطی، توزیع میدان در لایه‌ها و نمودارهای تراگسیل غیرخطی از ساختار مرتبه ۸ فیبونانچی برای حالت قطبش TE بررسی کردیم. نتایج عددی نشان دادند که مد تشدید با افزایش زاویه تابش به سمت فرکانسهای بزرگتر جابه جا می شود. توزیع میدان در داخل لایه‌های ساختار با افزایش زاویه تابش نامتقارن می‌شود. نمودارهای تراگسیل غیرخطی از سمت راست به چپ و چپ به راست برای زاویای فرودی مایل از هم جدا شده لذا تراگسیل یکسویه مشاهده می‌شود. دلیل این رفتارها را به خاطر این است که در حالت قطبش TE تصویر اندازه میدان الکتریکی در راستای عمود بر لایه‌های ساختار بلور فوتونی با افزایش زاویه تغییر کرده لذا ضریب شکست لایه‌های غیرخطی تغییر می‌کنند.

مراجع

[1] E. Yablonovitch, *Phys. Rev. Lett.* 58 (1987) 2059
[2] S. John, *Phys. Rev. Lett.* 58 (1987) 2486.
[3] J. .D. Joannopoulos, S. Johnson, R. Meade, J. Winn, *Photonic Crystals*, (University Press, Princeton, 2008).
[4] T. .F. Kraus, R.M. De La Rue, *Progress in Quantum Electroniques*, 23 (1999) 51
[5] S. Fan, P.R. Villeneuve, J.D. Joanopulos and H.A. Haus Phys. Rev. Lett. 80 (1998) 960–3
[6] S. Noda, A. Chutinan and M. Imada, Nature 407 (2000) 608–10
[7] S. D. Gupta and G. S. Agarwal, Optical Society of Americ. A, 4, (1987) 691.
[8] L.G. Wang, N.H. Liu, Q. Lin and S.Y. Zhu, Phys. Lett. A 337, (2005) 473.
[9] S.V. Zhukovsky and A.G. Smirnov, "All-optical diode action asymmetric nonlinear photonic multilayers with perfect transmission resonances"; *Phys. Rev. A* **83,** 023818 (2011).

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]