



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



مهندسی ساختار نواری در موجبرهای بلور فوتونی دو بعدی متشکل از استوانه‌های با سطح مقطع بیضوی

عبدالرسول قرائتی^۱ و سید حسن زهرایی^۲

^۱گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور شیراز، شیراز

^۲پژوهشکده نانو تکنولوژی، دانشگاه سلمان فارسی، کازرون

چکیده - در این مقاله، به بررسی تأثیر تغییر کشیدگی و عامل پرشدگی، بر ساختار نواری موجبر بلور فوتونی دو بعدی متشکل از استوانه‌های دی‌الکتریک از جنس گالیم آرسناید با سطح مقطع بیضوی در زمینه هوا پرداخته شده است. بنا به نتایج به دست آمده، با ثابت نگه داشتن عامل پرشدگی و تغییر کشیدگی عنصرها، پهنای نوار گاف تغییر کرده و در بزرگی فرکانس‌های هدایتی تغییری حاصل نمی‌شود. از طرفی با ثابت نگه داشتن کشیدگی و افزایش عامل پرشدگی عنصرها، پهنای نوار گاف و بزرگی فرکانس‌های هدایتی کاهش می‌یابند.

کلید واژه- روش بسط موج تخت، عامل پرشدگی، کشیدگی، فرکانس هدایتی.

Band Structure Engineering in 2D Photonic Crystal Waveguides Composed of Elliptic Cross Section Elements

Abdolrasoul Gharaati¹ and Sayed Hasan Zahraei²

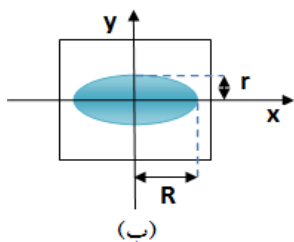
¹Department of Physics, Payame Noor University, Shiraz

²Institute for Nanotechnology, Salman Farsi University, Kazerun

Abstract- In this paper, we examine the effect of variations of elongation and filling factor on band structure of two dimensional photonic crystal waveguide. The photonic crystal consists of square lattice of gallium arsenide cylinders with elliptical cross-section in air background. According to the results, by variation of the elongation of the elements and fixing other parameters, the band gap width has been changed, but the magnitude of guiding frequency has not been changed. On the other hand, by increasing the filling factor of elements and fixing other parameters, the band gap width and magnitude of guiding frequencies have been decreased.

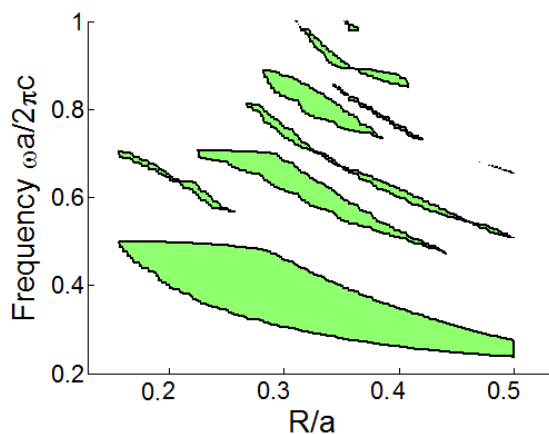
Keywords: plane wave expansion method, filling factor, elongation, guiding frequency.

۱- مقدمه



شکل ۱: (الف) سطح مقطع دو بعدی موجبر بلور فوتونی، (ب) عنصر های موجبر.

برای به دست آوردن نقشه نوار گاف و ساختار نواری موجبر مورد مطالعه از روش بسط موج تخت استفاده شده است، که در آن میدان الکتریکی مد قطبشی TM و تابع دی الکتریک ساختار بر حسب سری فوریه بسط داده می‌شوند [1]. شکل ۲ نقشه نوار گاف بلور فوتونی را نشان می‌دهد، که موجبر مورد مطالعه از ایجاد یک ردیف نقص خطی در آن ایجاد شده است. محاسبات نسبت به نیم قطر بزرگتر R و کشیدگی $e=0.5$ برای مد قطبشی TM انجام شده است. نواحی سبز رنگ فرکانس‌های واقع در ناحیه نوار گاف بلور فوتونی را نشان می‌دهند. نواحی سفید رنگ ویژه مدهای مجاز بلور را نشان می‌دهند. مطابق شکل ۲، به ازای هر نیم قطر بزرگتر عنصرها، نوارهای گاف با پهنای متفاوت مشاهده می‌شود. با استفاده از این نمودار می‌توان بلورهای فوتونی و یا موجبرهایی با نوار گاف معین طراحی و بررسی نمود.



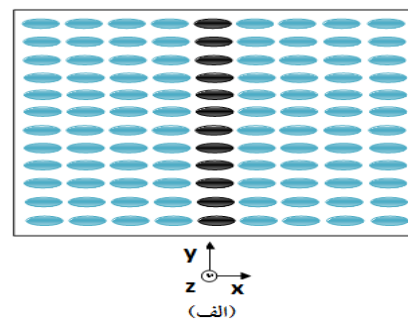
شکل ۲: نقشه نوار گاف برای مد قطبشی TM.

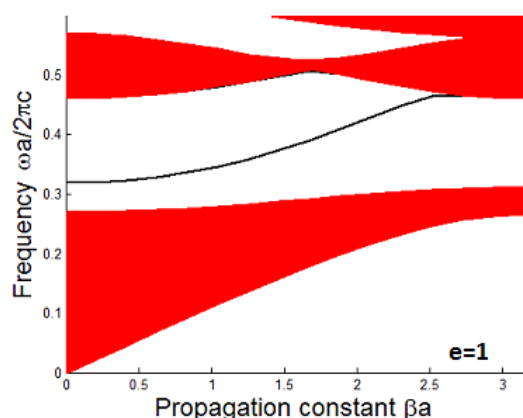
با توجه به نمودار شکل ۲، به منظور داشتن نوار گاف نسبتاً پهنی برای موجبر مورد مطالعه، مقدار نیم قطر بزرگتر $R=0.28a$ در نظر گرفته خواهد شد. در مرحله بعد از محاسبات مطابق شکل ۳، تغییر ساختار نواری موجبر شکل ۱ با تغییر کشیدگی e با $R=0.28a$ و $r=0.5R$ و در نتیجه عامل پرشدگی $f=0.09$

بلورهای فوتونی دو بعدی ساختارهایی هستند که ضریب شکست در آنها در دو بعد به طور متناوب تغییر می‌کند و در بعد سوم یکنواخت است. مهمترین خاصیت بلورهای فوتونی وجود نوار گاف انرژی و ویژه مدهای مجاز در ساختار نواری آنهاست. نوار گاف، ناحیه‌ای از فرکانس‌هاست که تابش الکترومغناطیسی در این ناحیه برخلاف ویژه مدهای مجاز قابل انتشار در بلور فوتونی نیست [1-3]. موجبر بلور فوتونی دو بعدی از ایجاد یک یا چند ردیف نقص خطی در شبکه بلور فوتونی دو بعدی ایجاد می‌شود. این نقص می‌تواند با جایگزینی یک یا چند ردیف از عنصرهای موجبر با عنصرهای با ضریب شکست متفاوت ایجاد نمود [4,5]. ساختارهای بلور فوتونی را می‌توان به منظور جایگزیدگی، تقسیم، تقویت، تشدید، قطبیده کردن نور و همچنین آشکارسازی گازها و سنجش دما و فشار مورد استفاده قرار داد [6-8]. در سال ۲۰۰۶ کارلا و همکارانش تأثیر چرخش عنصرهای بیضوی بلور فوتونی دو بعدی و تغییر کشیدگی آنها بر ساختار نواری مورد بررسی قرار دادند [5]. در این مقاله تأثیر تغییر هر یک از عوامل کشیدگی و پرشدگی عنصرهای بیضوی بر ساختار نواری موجبر بلور فوتونی دو بعدی، با روش بسط موج تخت برای مد قطبش TM بررسی شده است.

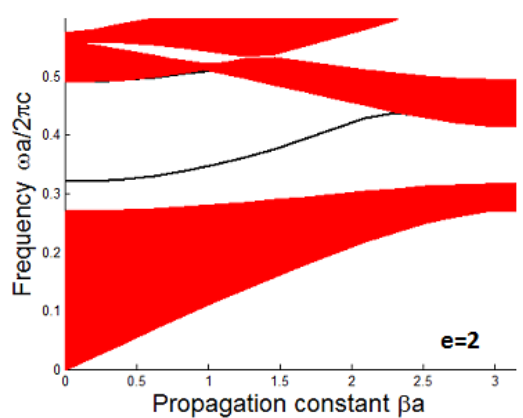
۲- معرفی ساختار

شکل ۱ سطح مقطع دو بعدی از موجبر بلور فوتونی مورد بررسی با شبکه مربعی متشکل از استوانه‌های دی الکتریک با سطح مقطع بیضوی با کشیدگی $e=r/R$ و عامل پرشدگی $f=\pi rR/a^2$ از جنس گالیم آرسناید با ضریب شکست $n=3.37$ [7]، در زمینه هوا با یک ردیف نقص خطی از هوا با ثابت شبکه $a=1\mu m$ نشان می‌دهد.





(ب)

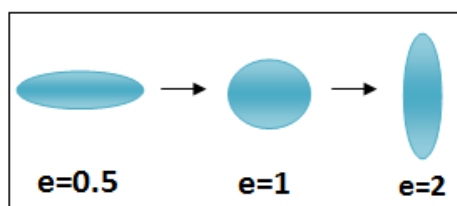


(ج)

شکل ۴: تغییر ساختار نواری موجبر مورد مطالعه با تغییر کشیدگی عنصرها.

رسم ساختارهای نواری به این صورت انجام شده که ابتدا برای منطقه اول بریلوئن، ویژه مدهای مجاز بلور فوتونی با نقص، با خطوط مشکی رسم می‌شوند و سپس مدهای مجاز (طیف پیوسته) بلور فوتونی دو بعدی بدون نقص (نواحی قرمز رنگ) رسم می‌گردد. به این ترتیب نواحی سفید رنگ نشان دهنده نوار گاف بلور فوتونی بدون نقص می‌باشند. بخشی از ویژه مدهای مجاز بلور فوتونی با نقص، در ناحیه نوار گاف بلور (نواحی سفید رنگ) قرار گرفته و از این رو فقط قابل انتشار در ناحیه نقص خواهند بود و مدهای مجاز موجبر مورد مطالعه هستند و مد نقص یا ویژه فرکانس‌های هدایتی نامیده می‌شوند [1-3]. بنا به نتایج شکل ۴، با تغییر کشیدگی، e ، شاهد تغییر پهنای نوار گاف و ثابت ماندن مقدار ویژه فرکانس‌های هدایتی خواهیم بود. همچنین به ازای کشیدگی $e=0.5$ محدوده طول موج تابشی که به ازای آن مد نقص خواهیم داشت بیشتر است و تغییرات سرعت گروه

مورد بررسی قرار می‌گیرد. مطابق رابطه $f = \pi r R / a^2$ برای ثابت نگه داشتن عامل پرشدگی برای هر کشیدگی شکل ۳، مقادیر جدول ۱ انتخاب می‌شوند.

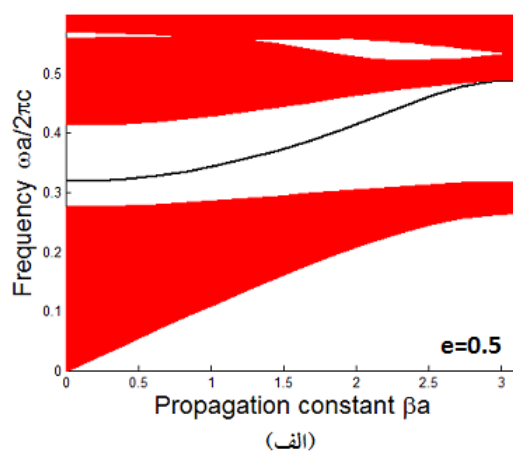


شکل ۳: تغییر کشیدگی عنصرهای موجبر مورد مطالعه.

جدول ۱: مقادیر نیم قطر بزرگتر و کوچکتر موجبر مورد مطالعه برای بررسی تغییر کشیدگی.

کشیدگی عنصر	R بهنجار شده	r بهنجار شده
$e = 0.5$	0.28a	0.14a
$e = 1$	0.198a	0.198a
$e = 2$	0.14a	0.28a

در ابتدا ساختار نواری موجبر شکل ۱ با روش بسط موج تخت و سپس با تغییر کشیدگی عنصرها و ثابت گرفتن عامل پرشدگی، ساختار نواری به ازای مقادیر کشیدگی شکل ۳، رسم شده است. نتایج در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به اینکه در روش بسط موج تخت، معادلات ویژه مقداری ترکیبی خطی از تعداد نامتناهی موج تخت است [1]، لذا برای حل عددی آنها و ترسیم ساختار نواری، معادلات ویژه مقداری با تعداد متناهی موج تخت، در این جا ۱۶۹ موج تخت، تقریب زده شده است، که نتایج حاصل از تعداد موج تخت بیشتر، با همین نتیجه مطابقت دارد.



(الف)

گاف و بزرگی ویژه فرکانس‌های هدایتی کاهش می‌یابد. از عوامل موثر در این تغییرات عامل پرتشدگی و کشیدگی است که عامل پرتشدگی به طور معکوس به تابع دی‌الکتریک $\epsilon(r)$ ساختار بستگی دارد [1]، به طوری که با تغییر هر یک از عوامل کشیدگی یا پرتشدگی، تابع دی‌الکتریک ساختار تغییر کرده و ساختار نواری تغییر می‌کند [1-3].

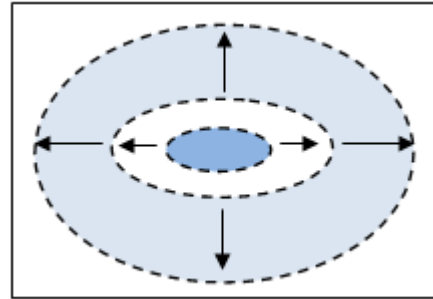
۳- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از روش بسط موج تخت، تأثیر تغییر کشیدگی و عامل پرتشدگی بر ساختار نواری موجبر بلور فوتونی دو بعدی با شبکه مربعی متشکل از عنصرهای با سطح مقطع بیضوی دی‌الکتریک در زمینه هوا بررسی شده است. بنا به نتایج حاصل شده، تغییر هر کدام از عوامل کشیدگی یا عامل پرتشدگی، تغییراتی در ساختار نواری ایجاد می‌کنند، به طوری که برای کشیدگی $e=0.5$ ساختار نواری مناسبی از لحاظ بیشترین محدوده طول موجی قابل هدایتی از طریق نقص و کمترین تغییرات در سرعت گروه را خواهد داشت. همچنین مشاهده گردید که با افزایش مقدار عامل پرتشدگی، پهنای نوار گاف و بزرگی ویژه فرکانس‌های هدایتی کاهش می‌یابند.

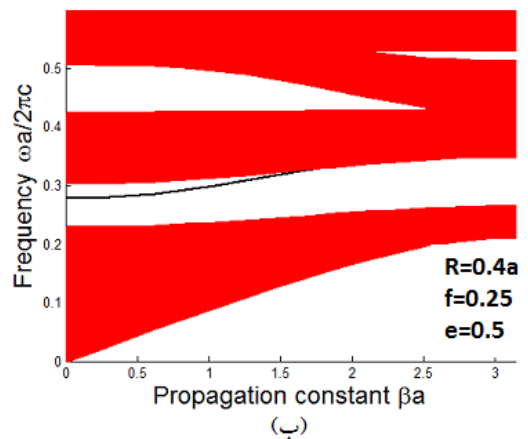
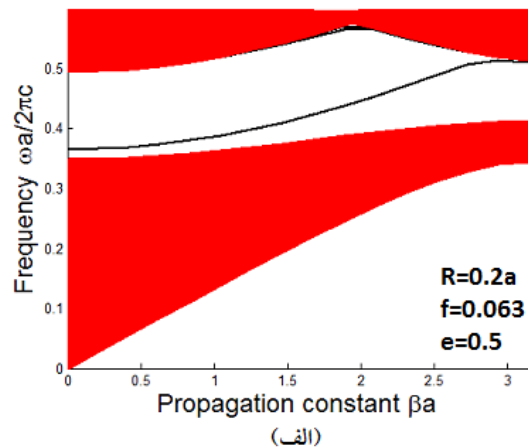
مراجع

- [1] Skorobogatiy, Maksim, and Yang, Jianke, *Fundamentals of photonic crystal guiding*, pp. 148-154, Cambridge University Press, 2009.
- [2] Sakoda, Kazuaki. *Optical properties of photonic crystals*, p. 142, Springer-Verlag, Berlin, 2001.
- [3] Joannopoulos, John, D., Johnson, Steven, G., Winn, Joshua, N. and Meade, Robert, D., *Photonic crystals molding the flow of light*, pp. 66-92, Princeton University Press, 2008.
- [4] Saleh, Bahaa, E. A., and Teich, Malvin, Carl, *Fundamentals of photonics*, P. 279, Wiley-Interscience, New York, 2007.
- [5] Kalra, Y, and Sinha, R. K. *Photonic band gap engineering in 2D photonic crystals*, PRAMANA journal of physics, Vol. 67, No. 6, 1155-1164, 2006.
- [6] Robinson, S., and Nakkeeran, R., *PCRR based band pass filter for C and L+U bands of ITU-T G.694.2 CWDM systems*, pp.142-149, optical and photonic journal, No. 1, 2011.
- [7] Dyogtyev, A. V, Sukhoivanov, I. A, and De La Rue, R. M, *Photonic band-gap maps for differerent two dimensionally Periodic photonic crystal structures*, Journal of Applied Physics, No. 107, 0131081-7, 2010.
- [8] Ravindra, K. Sinha and yogita karla, *Design optical waveguide polarizer using photonic band gap*, optical society of America, NO. 22, VOL. 14, optic express 10791, 2006.

($v_g = d\omega/dk$) کمتر است. در مرحله دیگر مطابق شکل ۵، به بررسی تغییر عامل پرتشدگی با تغییر نیم قطر بزرگتر و کوچکتر عنصرها با ثابت گرفتن کشیدگی عنصرها پرداخته می‌شود. نتایج برای کشیدگی $e=0.5$ در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۵: تغییر سطح عنصرهای موجبر مورد مطالعه.



شکل ۶: تغییر ساختار نواری موجبر مورد مطالعه برای دو مقدار از عامل پرتشدگی.

بررسی تغییرات شکل ۵ برای مقادیر متفاوتی از عامل پرتشدگی انجام شد و همانگونه که از شکل ۶ آشکار است، به طور کلی با افزایش عامل پرتشدگی عنصرها، پهنای نوار