

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی

اثر نسبت ضخامت لایه‌ها بر روی باند ممنوعه‌ی یک بلور فوتونیک یک بُعدی متشکل از مواد با ضریب شکست منفی

شادفر، ناهید؛ براتی، محمود

گروه فیزیک، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، فارس، ایران

چکیده

در این مقاله با به کارگیری روش ماتریس مشخصه انتشار امواج الکترومغناطیسی را روی بلور فوتونیک یک بُعدی متشکل از لایه‌هایی از مواد با ضریب شکست منفی و مثبت، و با فرض بر اینکه مواد با ضریب شکست منفی دارای میرایی می‌باشند، را مورد مطالعه قرار داده و اثرات نسبی ضخامت لایه‌ها را بر تعداد باندهای ممنوعه و نیز پهنا و فرکانس باندهای مذکور را مورد بررسی قرار می‌دهیم، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش نسبت ضخامت لایه‌ی با ضریب شکست منفی به مثبت، پهنای باند ممنوعه‌ی اصلی کاهش یافته و به سمت فرکانس‌های کمتر انتقال یافته اما تعداد باندهای فرعی افزایش می‌یابد. از نتایج بدست آمده می‌توان در ساخت و طراحی ادوات اپتیکی و فوتونیک استفاده کرد.

Effect of the thickness layer ratio on the band gap of 1D photonic crystal containing negative index materials

Shadfar, Nahid ; Barati, Mahmood

¹ Department of Physics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Fars, Iran

Abstract

In this paper, the characteristic matrix method is used to study the propagation of the electromagnetic waves through a one-dimensional (1D) photonic crystal consisting of negative and positive index materials layers, where the negative index materials have a damping factor. The effect of the thickness layer ratio on the width and central frequency of the band gap are also investigated. The results show that by increasing the thickness ratio of the layers, the width of the band gap reduces and the gap shifts to the lower frequencies, but the number of the sub gaps increase. The results are useful to manufacture and designing the optical and photonic devices.

PACS No. ۴۲

مقدمه

در این ناحیه تقریباً غیر ممکن بوده و به باند ممنوعه مشهور می‌باشد. باند ممنوعه به پارامترهایی از قبیل زاویه‌ی تابش، ضخامت و ضریب شکست لایه‌ها بستگی دارد. این خصوصیت سبب شده که مطالعه‌ی انتشار امواج الکترومغناطیسی در بلورهای فوتونیک به یک حوزه‌ی تحقیقاتی مهم تبدیل گردد. به طور طبیعی در آرایش بلورهای فوتونیک ضرایب گذردهی الکتریکی (ϵ) و تراوایی مغناطیسی (μ) مقادیر مثبتی هستند، اما از سال ۱۹۶۷ که وسلاگو دانشمند روسی احتمال وجود موادی با ضریب شکست منفی و

بلورهای فوتونیک به عنوان ساختارهای متناوبی از دی-الکتریک‌ها با ضریب شکست متفاوت، در چند دهه‌ی اخیر توجه محققان را به طور قابل توجهی جلب کرده‌اند. رفتار این بلورها در برابر امواج الکترومغناطیسی شبیه رفتار الکترون‌ها در نیمه‌رساناها می‌باشد. از جمله ویژگی‌های بارز و منحصر بفرد بلورهای فوتونیک وجود یک ناحیه‌ی فرکانسی خاص در طیف تراگسیل ساختار می‌باشد به گونه‌ای که امکان عبور امواج الکترومغناطیسی

محاسبات عددی و نتایج

برای بررسی ساختار یک بُعدی برای لایه‌ی A مقادیر ϵ_A و μ_A را طبق فرمول‌های ۱ و ۲ در نظر گرفته و لایه‌ی B را خلاء فرض می‌کنیم ($\epsilon_B = \mu_B = 1$). علاوه بر آن در این مقاله تعداد سلول‌های واحد را برابر با ۱۶ [۴،۸] در نظر گرفته و مقدار ضریب میرایی را $\gamma = 0/2 \times 10^{-3} \text{ GHz}$ فرض می‌کنیم. در بلورهای فوتونیک شبه‌ماده علاوه بر ظهور باند ممنوعه‌ی براگ (Bragg) که به علت بازتابش براگ لایه‌های مختلف صورت می‌گیرد، باند ممنوعه‌ی $-\bar{n}$ - صفر ($\text{Zero-}\bar{n}$) نیز در طیف تراگسیل پدیدار می‌گردد که این نامگذاری به دلیل ظاهر شدن آن در فرکانسی است که به ازاء آن میانگین ضریب شکست کل بلور صفر می‌باشد [۵]. نظر به این‌که در این مقاله فقط خصوصیت‌های باند ممنوعه‌ی $-\bar{n}$ - صفر مورد مطالعه قرار داده می‌شود، بررسی‌ها در محدوده‌ی فرکانسی که باند مذکور ظاهر می‌گردد انجام خواهد گرفت (۱/۵) تا ۳/۱۳ گیگاهرتز [۴،۵،۷،۸].

در این مقاله برای سه حالت مختلف از نسبت ضخامت لایه‌ها (d_A/d_B) تغییرات باند ممنوعه را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ابتدا به بررسی حالت $d_A/d_B = 1$ می‌پردازیم. شکل ۱ طیف تراگسیل ساختار را برای ۴ مقدار مختلف از ضخامت لایه‌ها نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار ضخامت لایه‌ها، فرکانس مرکزی باند ممنوعه‌ی ظاهر شده در طیف تراگسیل تقریباً ثابت می‌ماند در صورتی که پهنای آن شروع کاهش می‌کند. همچنین نتایج نشان می‌دهند که برای حالتی که $d_A = d_B = 13 \text{ mm}$ باشد، یک باند ممنوعه‌ی ثانویه‌ی جدیدی در طیف تراگسیل پدیدار می‌شود.

مقادیر به طور همزمان منفی برای ϵ و μ را پیش‌بینی کرد، تحولی در ساخت بلورهای فوتونیک ایجاد شد. از آنجا که این مواد در طبیعت موجود نبوده و مستلزم ساخت مصنوعی می‌باشند آنها را شبه‌مواد (Metamaterials) می‌گویند و بلور فوتونیک متشکل از آن را "بلور فوتونیک شبه‌ماده" (Metamaterial Photonic Crystal) می‌نامند. واضح است که خواص جالب و غیر عادی اینگونه از ساختارها و همچنین کاربردهای جالب در ساخت ادوات اپتیکی و فوتونیک، مطالعه در مورد ویژگی‌های باند ممنوعه‌ی این نوع از بلورها را به یکی از حوزه‌های تحقیقاتی مهم تبدیل کرده است.

تا کنون مطالعات گوناگونی در مورد کاربردها و ویژگی‌های بلور فوتونیک شبه‌ماده‌ی یک بُعدی صورت گرفته است [۸-۱]. در این مقاله به کمک روش ماتریس مشخصه، به مطالعه و بررسی اثرات ضخامت نسبی لایه‌ها بر روی تعداد و پهنای باند ممنوعه‌ی بلور فوتونیک شبه‌ماده‌ی یک بُعدی می‌پردازیم.

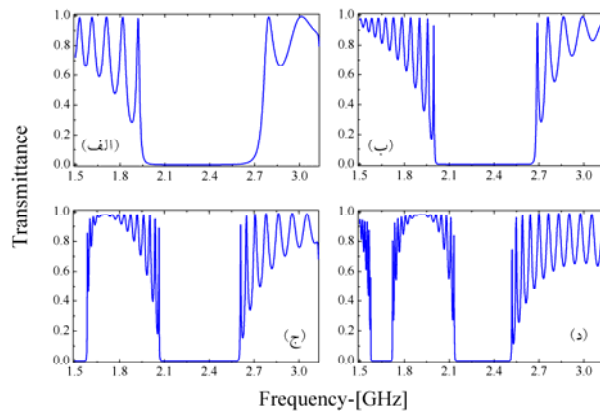
فرمول‌بندی مسئله

در این مقاله یک بلور فوتونیک شبه‌ماده‌ی یک بُعدی، $(AB)^N$ ، در نظر می‌گیریم. لایه‌های A و B به ترتیب از موادی با ضریب شکست منفی و مثبت تشکیل شده‌اند و N بیانگر تعداد سلول‌های واحد می‌باشد. ضرایب گذردهی الکتریکی و تراوایی مغناطیسی لایه‌ی A ، ϵ_A و μ_A ، را بر اساس فرمول‌های زیر که حاصل نتایج عددی لی و هم‌کارانش [۵] است در نظر می‌گیریم:

$$\epsilon_A(f) = 1 + \frac{5^2}{0.9^2 - f^2 - i\gamma f} + \frac{10^2}{11.5^2 - f^2 - i\gamma f} \quad (1)$$

$$\mu_A(f) = 1 + \frac{3^2}{0.09^2 - f^2 - i\gamma f} \quad (2)$$

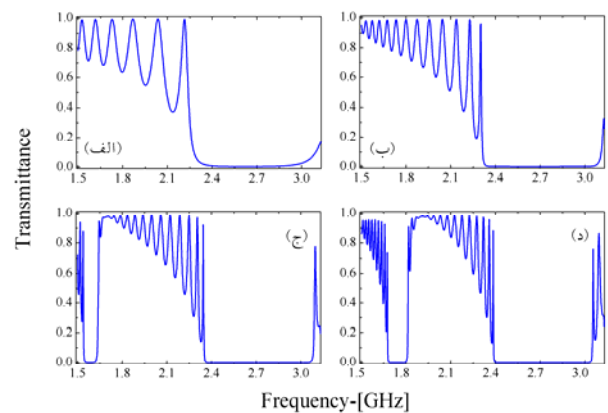
که در آن‌ها f و γ (فرکانس میرایی) بر حسب گیگاهرتز داده شده است. در این مقاله با منظور کردن تغییرات ϵ_A و μ_A نسبت به فرکانس، از روش ماتریس مشخصه [۹] استفاده نموده و ضریب عبور امواج الکترومغناطیس را در ساختار مورد نظر و برای حالت تابش عمود، به طور عددی محاسبه می‌نماییم.



شکل ۲: طیف تراگسیل بلور فوتونیک شبه‌ماده‌ی یک بُعدی برای موردیکه $d_A/d_B = 2$ است برای چهار مقدار مختلف از ضخامت لایه‌ها (الف) $d_B = 20mm, d_A = 10mm$ (ب) $d_B = 10mm, d_A = 5mm$ (ج) $d_B = 40mm, d_A = 20mm$ (د) $d_B = 30mm, d_A = 15mm$

جدید در حالت $d_A/d_B = 2$ پهنای بیشتری داشته و هم‌چنین در فرکانس‌های پایینی پدیدار می‌گردد (شکل‌های ۱ و ۲- ج و د). نهایتاً در مرحله پایانی به بررسی حالت $d_A/d_B = 3$ می‌پردازیم. شکل ۳ طیف تراگسیل ساختار را برای ۴ مقدار مختلف از ضخامت لایه‌ها نشان می‌دهد. همان‌گون که مشاهده می‌شود در این حالت باند ممنوعه‌ی اصلی در مقایسه با دو حالت قبل پهنای کمتری داشته و در فرکانس‌های پایینی پدیدار می‌گردد (شکل ۳- الف). با افزایش میزان ضخامت لایه‌ها همانند حالات قبل فرکانس مرکزی باند ممنوعه تقریباً ثابت مانده و پهنای کاهش می‌یابد که میزان کاهش پهنای در این حالت در مقایسه با دو حالت قبل بیشتر می‌باشد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود به ازاء $d_A = 16mm$ و $d_B = 48mm$ همانند دو حالت قبل باند ممنوعه‌ی ثانویه‌ی جدیدی در طیف تراگسیل در فرکانس‌های پایین‌تر از باند اصلی، پدیدار شده و همانند حالات پیشین پهنای و فرکانس مرکزی باند ممنوعه‌ی جدید با افزایش مقدار ضخامت لایه‌ها بیشتر می‌شود. هم‌چنین باند ممنوعه‌ی ثانویه در فرکانس‌های پایینی ظاهر می‌گردد (شکل ۳- ج و د).



شکل ۱: طیف تراگسیل بلور فوتونیک شبه‌ماده‌ی یک بُعدی برای موردیکه $d_A/d_B = 1$ است برای چهار مقدار مختلف از ضخامت لایه‌ها (الف) $d_B = 20mm, d_A = 10mm$ (ب) $d_B = 10mm, d_A = 5mm$ (ج) $d_B = 15mm, d_A = 10mm$ (د) $d_B = 15mm, d_A = 20mm$

پهنای باند ممنوعه‌ی جدید با افزایش مقدار ضخامت لایه‌ها افزایش یافته و بر خلاف باند ممنوعه‌ی اصلی، فرکانس مرکزی به سمت فرکانس‌های بالاتر پیش می‌رود (شکل-۱).

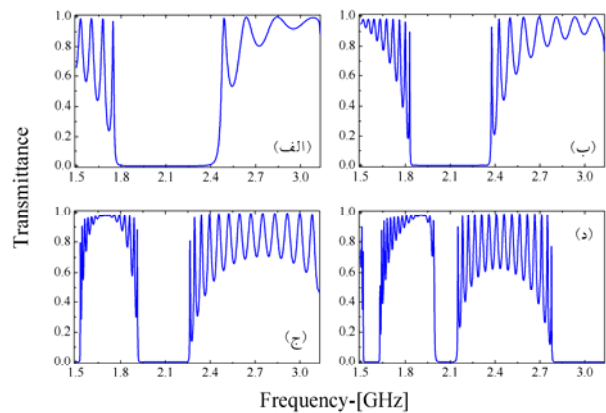
در این مرحله حالت $d_A/d_B = 2$ را مورد مطالعه قرار می‌دهیم. نتایج حاصل از طیف تراگسیل ساختار مفروض را برای ۴ مقدار مختلف از ضخامت لایه‌ها در (شکل ۲) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که باند ممنوعه‌ی اصلی در فرکانس‌های کمتری نسبت به حالت اول ظاهر گردیده و دارای پهنای کمتری می‌باشد. هم‌چنین با افزایش میزان ضخامت لایه‌ها فرکانس مرکزی نسبتاً ثابت مانده ولی پهنای باند ممنوعه کاهش می‌یابد و این کاهش در مقایسه با حالت قبل بیشتر می‌باشد.

هم‌چنین نتایج نشان می‌دهد که برای به ازاء $d_A = 13mm$ و $d_B = 26mm$ همانند حالت قبل باند ممنوعه‌ی ثانویه‌ی جدیدی در طیف تراگسیل و در فرکانس‌های پایین‌تر باند اصلی پدیدار می‌شود. با افزایش مقدار ضخامت لایه‌ها پهنای و فرکانس مرکزی باند ممنوعه‌ی جدید بیشتر می‌شود که این افزایش در مقابل حالت $d_A/d_B = 1$ کمتر خواهد بود. از نتایج بدست آمده و مقایسه‌ی باند ممنوعه‌ی جدید در دو حالت مختلف از نسبت ضخامت لایه‌ها که مورد بررسی قرار گرفت مشاهده می‌شود که باند ممنوعه‌ی

ها منظور گردید. نتایج نشان می‌دهد که در هر سه حالت بررسی شده با افزایش مقدار ضخامت لایه‌ها باند فرعی ثانویه‌ای که در فرکانس‌های کمتر از فرکانس باند ممنوعه‌ی اصلی پدیدار می‌گردند، به سمت فرکانس‌های بیشتر انتقال می‌یابد. علاوه بر آن مشاهده شد که با افزایش میزان باند ممنوعه‌ی فرعی سومی نیز در فرکانس‌هایی بالاتر از فرکانس باند اصلی ظاهر می‌شود که دارای ویژگی‌هایی بر خلاف باندهای ممنوعه‌ی اصلی و ثانویه می‌باشد. با افزایش مقدار ضخامت لایه‌ها پهنای باند ممنوعه افزایش یافته و فرکانس مرکزی به سمت فرکانس‌های کمتر انتقال خواهد یافت. نتایج بدست آمده را می‌توان در ساخت و طراحی ادوات اپتیکی و فوتونیک‌ی مورد استفاده قرار داد.

مراجع:

- [۱] آقاجامالی، علیرضا؛ براتی، محمود؛ «بررسی باند ممنوعه‌ی بلور فوتونیک یک بُعدی متشکل از شبه‌ماده»؛ مقاله‌نامه‌ی کنفرانس فیزیک ایران، ۱۳۸۹، ۶۱۹.
- [۲] آقاجامالی، علیرضا؛ براتی، محمود؛ «مطالعه‌ی باند ممنوعه‌ی \bar{n} - صفر یک بلور فوتونیک یک بُعدی سه لایه‌ای متشکل از شبه‌ماده»؛ مقاله‌نامه‌ی دهمین کنفرانس ماده چگال ایران، ۱۳۸۹.
- [۳] آقاجامالی، علیرضا؛ اکبری موسوی، مریم؛ براتی، محمود؛ «بازتاب کامل امواج به وسیله‌ی شبه‌بلور فوتونیک دی‌الکتریک یک بُعدی سه لایه‌ای»؛ مقاله‌نامه‌ی پنجمین همایش ملی فیزیک دانشگاه پیام‌نور، تبریز، ۱۳۹۰، ۹۴.
- [۴] A. Aghajamali and M. Barati; "Effects of normal and oblique incidence on zero- \bar{n} gap in periodic lossy multilayer containing double-negative materials"; *Physica B*, ۴۰۷ (۲۰۱۲) ۱۲۸۷.
- [۵] J. Li, L. Zhou, C. T. Chan and P. Sheng; "Photonic Band Gap from a Stack of Positive and Negative Index Materials"; *Phys. Rev. Lett.*, ۹۰ (۲۰۰۳) ۰۸۳۹۰۱.
- [۶] H. Jiang, H. Chen, H. Li, Y. Zhang and S. Zhu; "Omnidirectional gap and defect mode of one-dimensional photonic crystals containing negative-index materials"; *Appl. Phys. Lett.*, ۸۳ (۲۰۰۳) ۵۳۸۶.
- [۷] S. K. Awasthi, A. Mishra, U. Malaviya and S. P. Ojha; "Wave propagation in a one-dimensional photonic crystal with metamaterial"; *Solid State Commun.*, ۱۴۹ (۲۰۰۹) ۱۳۷۹.
- [۸] A. Aghajamali and M. Barati; "Investigation of the zero- \bar{n} gap in a one-dimensional photonic crystal with metamaterial"; *10th International Conference on Fiber Optics and Photonics*, Guwahati, India; (۲۰۱۰) Paper MP_۳۰۹.
- [۹] M. Born and E. Wolf; "Basic properties of the electromagnetic field, in: *Principles of Optics*"; Cambridge University Press. U.K. (۱۹۸۰).



شکل ۳: طیف تراگسیل بلور فوتونیک شبه‌ماده‌ی یک بُعدی برای موردیکه $d_A/d_B = 3$ برای چهار مقدار مختلف از ضخامت لایه‌ها (الف) $d_B = 30\text{mm}$, $d_A = 10\text{mm}$ (ب) $d_B = 15\text{mm}$, $d_A = 5\text{mm}$ (ج) $d_B = 60\text{mm}$, $d_A = 20\text{mm}$ (د) $d_B = 45\text{mm}$, $d_A = 15\text{mm}$

در این حالت ($d_A/d_B = 3$) بر خلاف حالت‌های قبل و برای زمانی که $d_B = 54\text{mm}$ و $d_A = 18\text{mm}$ باشد باند ممنوعه‌ی دیگری در فرکانس‌های بالاتر از فرکانس باند ممنوعه‌ی اصلی در طیف تراگسیل پدیدار می‌گردد. با افزایش مقدار ضخامت لایه‌ها، بر خلاف باندهای ممنوعه‌ی اصلی و ثانویه، پهنای باند ممنوعه‌ی سوم افزایش می‌یابد و هم‌چنین فرکانس مرکزی به سمت فرکانس‌های کمتر کاهش خواهد یافت. با توجه به نتایج بدست آمده برای سه حالت مختلف از نسبت ضخامت لایه‌ها مشاهده گردید که با تغییر نسبت و هم‌چنین ضخامت لایه‌ها، پهنای باند مرکزی و هم‌چنین تعداد باندهای ممنوعه دچار تغییر می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر نسبت ضخامت لایه هادر طیف تراگسیل در بلور فوتونیک یک بُعدی متشکل از لایه‌های با ضریب شکست مثبت و منفی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که فرکانس مرکزی و پهنای باند ممنوعه‌ی اصلی با افزایش نسبت ضخامت لایه‌ها (d_A/d_B) کاهش یافته ولی تعداد باندهای ممنوعه‌ی فرعی افزایش می‌یابد. سه نسبت متفاوت برای لایه

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی