



بیست و هفتمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران و سیزدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.
۱۴-۱۶ بهمن ۱۳۹۹



کد مقاله : ۱-۴-۲۶۰-۱۰-A

بررسی گاف‌های فرکانسی بلورهای فوتونی پلاسمایی یک بعدی تئو-مورس

محبوبه قلندری^۱، ملیحه نجاتی^۲ و مهدی سلیمانی^۱

^۱گروه فیزیک، دانشکده مکانیک، دانشگاه صنعتی قم، قم

^۲گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم، قم

چکیده - در این کار، به بررسی گاف‌های فرکانسی تعدادی از بلورهای فوتونی با چینش دی الکتریک/پلازما خواهیم پرداخت. ترتیب قرارگیری لایه‌ها از دنباله تئو-مورس تبعیت می‌کنند. با استفاده از روش مرسوم ماتریس انتقال، نمودار ضریب عبور برحسب فرکانس موج فرودی را می‌یابیم و از روی آن گاف‌های فرکانسی را بدست می‌آوریم.

کلید واژه- بلور فوتونی پلاسمایی، دنباله تئو-مورس- روش ماتریس انتقال-گاف فرکانسی

Investigation of frequency gaps of the one dimensional Thue-Morse plasma photonic crystals

Mahboubeh Ghalandari¹, Maliheh Nejati² and Mehdi Solaimani¹

¹Department of Physics, Faculty of Mechanical Engineering, Qom University of Technology, Qom

²Department of Physics, Faculty of science, Qom University, Qom

ma.nejati@qom.ac.ir, solaimani@qut.ac.ir, mahboubeh.ghalandari@gmail.com

Abstract- In this work, we will study the frequency gaps of a few plasma/dielectric photonic crystals. The arrangement of the layers obeys from the Thue-Morse sequence. We obtain the diagrams of the transmission coefficient with respect to the incident wave frequency through the conventional transfer matrix method and using them we evaluate the frequency gaps.

Keywords: Plasma photonic crystals, Thue-Morse sequence, transfer matrix method, frequency gaps.

پیروی می نماید. m جرم الکترون و e بار الکترون می-باشد. در این مقاله با استفاده از روش ماتریس انتقال به محاسبه ضرایب عبور می‌پردازیم [۲]. ماتریس انتقال M برای مد TM در زاویه فرودی θ_0 از خلا به داخل ساختار به صورت زیر داده می‌شود:

$$M[d] = \prod_{i=1,2} \begin{bmatrix} \cos(\gamma_i) & -i \sin(\gamma_i) \\ -ip_i \sin(\gamma_i) & \cos(\gamma_i) \end{bmatrix} P_i \quad (1)$$

که $\gamma_i = (\omega/c) n_i d_i \cos(\theta_i)$ سرعت نور در خلا و θ_i زاویه شکست در لایه با ضریب شکست n_i است. در این جا $p_i = \sqrt{\mu_i / \epsilon_i} \cos \theta_i$ است که در آن، $\cos \theta_j = \sqrt{1 - (n_0^2 \sin^2 \theta_0 / n_j^2)}$ بنابراین، ماتریس انتقال برای یک ساختار N دوره‌ای برابر $[M(d)]^N$ است. ضریب عبور برای کل سیستم به صورت زیر می‌باشد:

$$t = \frac{2p_0}{(M_{11} + M_{12}p_s)p_0 + (M_{21} + M_{22}p_s)} \quad (2)$$

در این رابطه، M_{ij} با فرض $(i, j=1,2)$ عناصر ماتریس $[M(d)]^N$ هستند. همچنین داریم: $p_0 = \cos \theta_0 / n_0$ و $p_s = \cos \theta_s / n_s$

نتایج عددی

در این مقاله، فرض کرده‌ایم که چگالی پلاسما n_e برابر $1 \times 10^{18} m^{-3}$ و طول سیستم L برابر $30 mm$ می-باشد. همچنین برای این که رفتار ضریب عبور بر حسب فرکانس را به ازای ثابت‌های دی الکتریک مختلف مورد بررسی قرار دهیم، ثابت دی الکتریک را از ۲.۵ تا ۷ تغییر داده و نتایج عددی حاصل از آن را به ازای ۳ تعداد چاه متفاوت در شکل‌های ۱ تا ۳ ترسیم کرده‌ایم. در شکل ۱، نمودار تغییرات ضریب عبور بر حسب فرکانس به ازای wellnumber=10 برای ثابت‌های دی الکتریک متفاوت ترسیم شده است. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد در ناحیه فرکانس‌های مختلف، گاف‌های متعددی مشاهده می‌شود. در این کار به دنبال بررسی اثر ثابت دی الکتریک بر روی پهنای گاف می‌باشیم. از آن جا که اولین گاف در این نمودارها رفتار خیلی واضحی از خود نشان

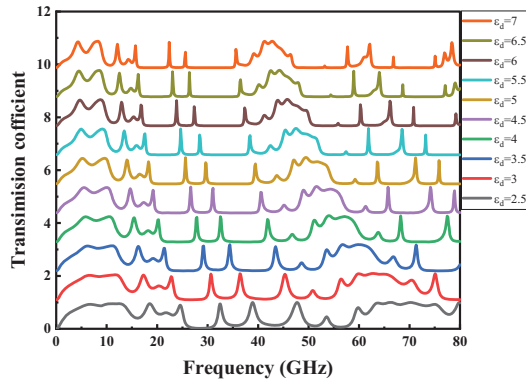
مقدمه

در مدل تئو-مورس، ساختار کاملاً از دیگر سیستم‌های شبه دوره‌ای متفاوت است. این ساختار یک حالت بین حالات تصادفی و شبه دوره‌ای است. در این ساختارها طیف دامنه فوریه قله‌های به شکل تابع دلتا ندارد، بلکه طیف دامنه فوریه این ساختارها متشکل از قله‌های تابع دلتا و طیف پیوسته تکین است [۳]. این مدل تاکنون در حوزه‌های مختلفی نظیر مدل آیزینگ [۴]، ویژگی‌های فونونی [۵]، گسیل خودبخودی [۶]، فوتولومینسانس اکسایتونی [۷]، ویژگی‌های جایگزیدگی [۸] و ... در این مطالعه، به بررسی گاف‌های نوری چند لایه ای هابی با چینش تئو-مورس خواهیم پرداخت. در این ساختارها طول کلی را ثابت نگه خواهیم داشت تا اندازه ساختار خیلی بزرگ نشود. همچنین، از روش ماتریس انتقال برای حل مسئله استفاده خواهیم کرد.

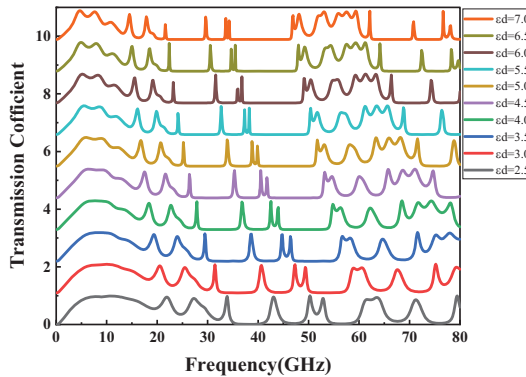
فرمالیزم

در این مقاله، یک بلور فوتونی یک بعدی را در نظر می-گیریم که طول کل آن ثابت است. ساختار این بلور فوتونی مبتنی بر تابع تئو-مورس^۱ است که به صورت تکه‌ای تغییر می‌کند. با استفاده از دو علامت مختلف A و B برای تولید n امین نسل تئو-مورس S_n استفاده می‌کنیم [1]:
 $S_1 = AB$ ، $S_n = S_{n-1} + \tilde{S}_{n-1}$ که \tilde{S}_{n-1} می‌تواند با معاوضه‌ی A و B در S_{n-1} تولید شود. برای مثال، $S_2 = ABBA$ ، $S_3 = ABBABAAB$ ، ... در این مقاله، فرض می‌کنیم که بلور فوتونی شامل دو لایه‌ی دی الکتریک و پلاسما است که به طور تناوبی تکرار می‌شود. ضریب شکست پلاسما بصورت $n_p = (1 - \omega_p^2 / \omega^2)^{1/2}$ می‌باشد که در آن فرکانس پلاسما از رابطه $\omega_p = (n_e e^2 / m \epsilon_0)^{1/2}$

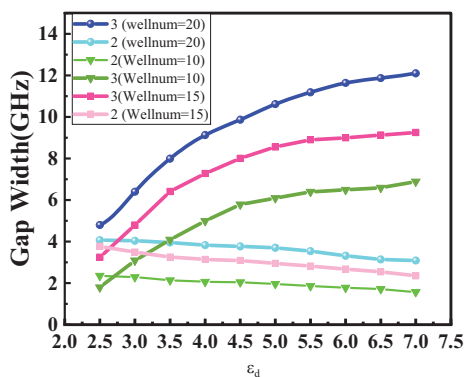
¹Thue-Morse



شکل ۲: نمودار ضریب عبور بر حسب فرکانس موج فرودی به ازای تغییر ضریب دی الکتریک ϵ_d از ۲.۵ تا ۷. و $wellnumber = 15 \cdot n_e = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $L = 30 mm$

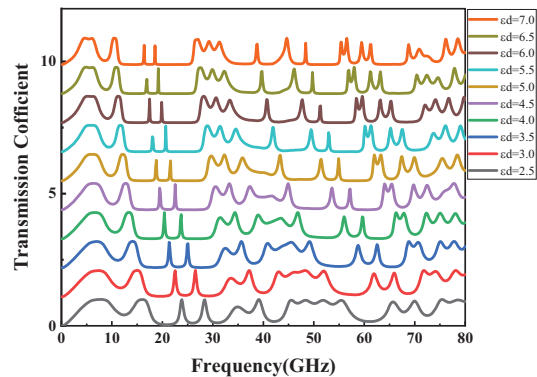


شکل ۳: نمودار ضریب عبور بر حسب فرکانس موج فرودی به ازای تغییر ضریب دی الکتریک ϵ_d از ۲.۵ تا ۷. و $wellnumber = 20 \cdot n_e = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $L = 30 mm$



شکل ۴: نمودار تغییر عرض گاف‌های بلور فوتونی بر حسب تغییرات ضریب دی الکتریک به ازای $n_e = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $L = 30 mm$ و $wellnumber = 10, 15, 20$

نمی‌داد. لذا پهنای گاف دوم و سوم را با تغییر ثابت دی الکتریک در شکل ۴، مورد بررسی قرار دادیم. در این شکل، عرض گاف دوم برای تعداد چاه‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ترسیم شده است. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد با افزایش ثابت دی الکتریک، پهنای گاف دوم به آرامی کاهش می‌یابد. اما بررسی پهنای گاف سوم به ازای تعداد چاه‌های متفاوت نشان می‌دهد که به ازای تمام تعداد چاه‌ها پهنای گاف با افزایش ثابت دی الکتریک افزایش می‌یابد. این تغییرات منظم در پهنای گاف نشان می‌دهد، بدون این‌که فرکانس پلاسمایی یا طول سیستم را تغییر دهیم، می‌توانیم محل و عرض گاف را تنظیم کنیم. نکته دیگر آن است که، رفتار گاف دوم بصورت خطی و گاف سوم بصورت منحنی است. همچنین در شکل‌های ۱ تا ۳ مشاهده می‌کنیم که با افزایش ثابت دی الکتریک، محل گاف‌های فرکانسی به سمت فرکانس‌های کم‌تر شیف‌ت پیدا می‌کند.



شکل ۱: نمودار ضریب عبور بر حسب فرکانس موج فرودی به ازای تغییر ضریب دی الکتریک ϵ_d از ۲.۵ تا ۷. و $wellnumber = 10 \cdot n_e = 1 \times 10^{18} m^{-3}$, $L = 30 mm$

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، گاف‌های فرکانسی تعدادی بلور فوتونی پلاسمایی یک بعدی با توالی تئو-مورس مورد بررسی قرار گرفت. با کمک روش ماتریس انتقال این گاف‌ها بدست آمدند. نشان داده شد که با افزایش ثابت دی‌الکتریک، پهنای برخی از گاف‌ها کاهش می‌یابد. تغییرات در پهنای گاف فرکانسی نشان داد که بدون این‌که فرکانس پلاسمایی یا طول سیستم را تغییر دهیم، می‌توانیم محل و عرض گاف را تنظیم کنیم. با افزایش ثابت دی‌الکتریک نیز محل گاف‌های فرکانسی به سمت فرکانس‌های کم‌تر شیفت پیدا کرد.

مرجع‌ها

- [1] V. Ferrando, A. Coves, P. Andres, and J. A. Monsoriu, "Guiding Properties of a Photonic Quasi-Crystal Fiber Based on the Thue-Morse Sequence", IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 27, pp. 1903-1906, 2015.
- [2] M. Born and E. Wolf; *Principles of Optics: Electromagnetic theory of propagation, Interference and diffraction of light*, Cambridge University Press, 2005.
- [3] L. Wang, X. Yang, T. Chen, "Second harmonic generation in generalized Thue-Morse ferroelectric superlattices", Physica B Vol. 404, pp. 3425-3430, 2009.
- [4] Z. Lin and R. Tao, "Quantum Ising model on Thue-Morse aperiodic chain", Phys. Lett. A Vol. 150, pp. 11-13, 1990.
- [5] E. M. Pan, Z. K. Jiao, G. J. Jin, A. Hub, S. S. Jiang, "Phonon properties of W/Ti Thue-Morse superlattices", Phys. Lett. A Vol. 245, pp. 483-488, 1998.
- [6] L. Li, C. J. Mathai, S. Gangopadhyay, X. Yang & J. Gao, "Spontaneous emission rate enhancement with aperiodic Thue-Morse multilayer", Sci. Rep. Vol. 9, p. 8473, 2019.
- [7] W. J. Hsueh, C. H. Chang, and C. T. Lin, "Exciton photoluminescence in resonant quasi-periodic Thue-Morse quantum wells", Opt. Lett. Vol. 39, pp. 489-492, 2014.
- [8] E. Lazo, E. Saavedra, F. Humire, C. Castro, and F. Cortes-Cortes, "Localization properties of transmission lines with generalized Thue-Morse distribution of inductances", Eur. Phys. J. B Vol. 88, p. 216, (2015).