

کد مقاله : ۱-۲۵۵۲-۱۰-A

## مطالعه و بررسی ضخامت، ثابت دی الکتریک، تعداد تناوب، بر سیستم‌های چند لایه‌ای بدون انعکاس

سیده زهرا، اکبرزاده<sup>۱</sup>، امین، قادی<sup>۲</sup>

<sup>۱,۲</sup> گروه فیزیک اتمی و مولکولی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه مازندران (بابلسر)

[a.ghadi@umz.ac.ir](mailto:a.ghadi@umz.ac.ir), [www.zahra.akbarzadeh.photonic@gmail.com](mailto:www.zahra.akbarzadeh.photonic@gmail.com)

چکیده - در این مقاله، ساختار پلاسما - دی الکتریک، را با استفاده از روش ماتریس انتقال، مورد بررسی قرار می‌دهیم. سپس تغییرات تعداد تناوب، زاویه فرودی، ثابت دی الکتریک، و ضخامت لایه‌ها را روی پهنای باند انعکاس، نشان می‌دهیم. در این ساختار مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد تناوب، تعداد باندهای انعکاسی کمتر می‌شود اما مراکز این باندها به سمت فرکانس‌های بیشتر می‌روند. همچنین با افزایش ثابت دی الکتریک مرکز پهنای باند کاهش، اما پهنای باند افزایش می‌یابد. با افزایش ضخامت لایه، پهنای باند انعکاس کم و زیاد می‌شود ولی به تعداد باند انعکاس افزوده می‌شود.

کلید واژه- باند انعکاس فوتونیک، بلور های فوتونیک، مدهای انتشاری ( باند انتقال).

## Study of refractive index and thickness and number of periods and dielectric constants on multilayer systems without reflection

Seyyede Zahra Akbarzadeh<sup>1</sup>, Amin Ghadi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Atomic and molecular physics, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran (Babolsar). [a.ghadi@umz.ac.ir](mailto:a.ghadi@umz.ac.ir)

**Abstract-** In this paper, we study the plasma-dielectric structure using the transfer matrix method. Then we show the changes in the number of periods, the incidence angle, the dielectric constant, and the thickness of the layers on the reflection bandwidth. In this structure, it is observed that with increasing the number of periods, the number of reflective bands decreases, but the centers of these bands move towards higher frequencies. Also, with increasing dielectric constant, their center widths decrease, but their widths increase. As the layer thickness increases, the bandwidth of the reflector increases and decreases, but the number of reflector bands increases.

Keywords: photonic reflection band, Photonic crystals, Propagation Modes (Transmission band).

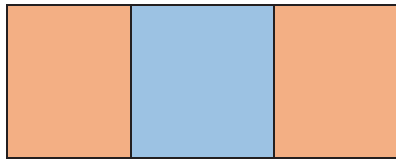
## مقدمه

بلورهای فوتونی دسته جدیدی از محیط‌های نوری هستند که وجه مشخصه آنها ساختارهایی است که ضریب شکست آن‌ها به صورت متناوب تغییر می‌کند. این محیط‌ها دارای مشخصات ویژه‌ای هستند که با توجه به آن‌ها می‌توان از بلورهای فوتونی در کاربرد های مختلفی استفاده نمود. ساختار بلورهای فوتونی شباهت زیادی به بلورهای نیمه رسانا دارد. مشخصه اصلی بلورهای که نوعا به صورت مصنوعی ساخته می‌شوند، دوره‌ای بودن آنهاست. این ویژگی منجر به ایجاد باند ممنوعه فرکانسی در بلور می‌شود. به طوریکه امواج الکترومغناطیس که با فرکانس منطقه ممنوعه تابش می‌شوند، قادر به عبور از بلور نمی‌باشند. این باند ممنوعه در ساخت هواپیماهای رادارگریز [۱]، دارای اهمیت می باشد. وجود نقص در بلور فوتونی موجب ایجاد مدهای نقص در داخل باند ممنوعه می‌گردد، که چنین مدی مجبور است در ناحیه نقص محدود گردد. نقص در بلور فوتونی همانند کاواکی عمل می‌کند که دیواره‌هایش نور را کاملا منعکس می‌کند. اگر نوری هم فرکانس با فرکانس مد نقص به نزدیکی ناحیه نقص تابیده شود، این نور قادر خواهد بود  $\omega_p = \left( \frac{e^2 n^2}{\epsilon_0 m} \right)^{1/2}$  ناحیه را ترک کند [۲] روش های مختلفی برای محاسبه موقعیت های نقص در بلور یک بعدی وجود. اگر امواج الکترومغناطیسی نتواند در هر زاویه فرودی و هر قطبشی در یک بلور فوتونیک منتشر شود، یا نسبت به تغییر زاویه موج فرودی و قطبش آن حساسیت نشان ندهد، به آن گاف باند تمام سویه گفته می‌شود. در این مقاله برای ترسیم نمودار انتقال، انعکاس و جذب بر حسب فرکانس از ماتریس انتقال استفاده می‌کنیم.

## مدل تئوری و روش عددی

فرض می‌شود موجی با زاویه  $\theta$  بر ساختار دولایه‌ای پلاسما دی‌الکتریک فرود می‌آید. لایه های A و B نشان دهنده‌ی پلاسما و شیشه کوارتز و ضخامت لایه A که

(ضخامت پلاسمای غیر مغناطیده)  $d_1$  و ضخامت لایه B (ضخامت شیشه کوارتز)  $d_2$  و تعداد تناوب دولایه است. رابطه ثابت دی‌الکتریک و نفوذپذیری  $\epsilon_i, \mu_i$  و فرض می‌شود عدد حقیقی و  $(i = 1, 2)$  باشد و فرض می‌شود هر لایه همگن و همسانگرد و با فصل مشترک نامحدود باشد. در اینجا از  $\epsilon_1$  و  $\epsilon_2$  برای شرح ثابت دی‌الکتریک پلاسمای غیر مغناطیده و ثابت دی‌الکتریک B استفاده می‌کنیم [۳]. همانطور که می‌دانیم پلاسمای غیر مغناطیده نوعی از فرکانس وابسته به دی‌الکتریک است و ثابت دی‌الکتریک (پلاسما)  $\epsilon_1$  که از مدل درود پیروی می‌کند به شرح زیر نوشته می‌شود [۴][۵].

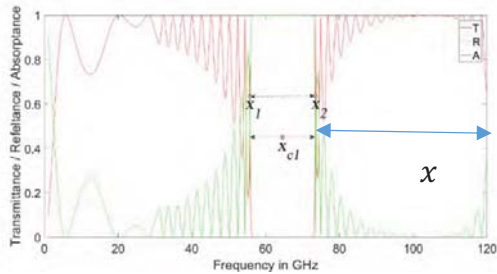


شکل ۱. بلور فوتونی متشکل از پلاسما-دی الکتريک

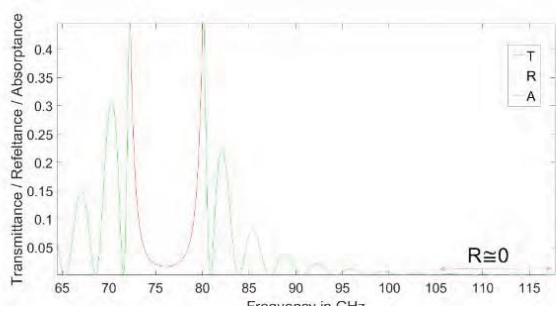
$\omega_p$  فرکانس پلاسمایی برابر است با :

که  $e$  و  $m$  و  $n_e$  و  $\epsilon_0$  به ترتیب بار الکتريکی، جرم الکتريکی، چگالی پلاسما، و ثابت دی‌الکتریک در خلاء است. امواج EM (الکترومغناطیسی) با زاویه فرودی  $\theta$  از خلاء به ساختار چندلایه‌ای پلاسما - دی‌الکتریک فرود می‌آید. فرض می‌کنیم بردار موج  $K(\omega)$  در صفحه‌ی XZ قرار دارد. بنابراین محاسبه انعکاس و انتقال و جذب برای ساختار چند لایه‌ای از روش ماتریس انتقال (TMM) [۶] استفاده می‌شود. ماتریس انتقال نشان دهنده‌ی ارتباط میدان‌های الکتريکی و مغناطیسی بین دولایه از محیط متناوب می‌باشد و ارتباط بین لایه اول و نهایی را نشان می‌دهد، همچنین می‌توانیم مشخصه های مرتبط با میدان الکتريکی و مغناطیسی را در هر دو مکان در لایه مجاور

باند انعکاس گوئیم. در این شکل پهنای باند انعکاس با  $(x_2 - x_1)$  و مرکز آن را با  $x_{c1}$  نمایش دادیم. با افزایش ثابت دی الکتریک لایه دوم به تعداد باند انعکاسی افزوده می‌شود، تا در  $\epsilon_2 = 4$  تعداد باند انعکاس، در دو باند انعکاس ثابت می‌ماند. پهنای اولین و دومین باند انعکاس، همواره در حال افزایش است.

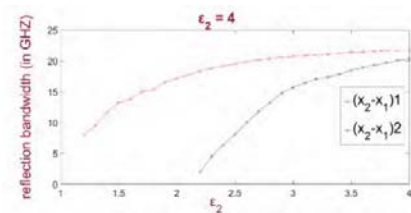


شکل (۲). نمودار انتقال/انعکاس/ جذب بر حسب فرکانس با  $N=20$ ,  $\theta=0$ ,  $\epsilon_2=2$ ,  $D=40$  همچنین  $x_c$  باند انتقال است.



شکل (۳) نمایش انعکاس صفر در نمودار انتقال/انعکاس/ جذب بر حسب فرکانس با  $N=20$ ,  $\theta=0$ ,  $\epsilon_2=2$ ,  $D=40$ .

در شکل (۳) در بازه‌ی فرکانسی ۱۰۲.۵ تا ۱۰۶.۴ گیگا هرتز انعکاس صفر و تقریباً نزدیک به صفر داریم.



شکل (۴) پهنای باند انعکاس بر حسب  $\epsilon_2$  با در نظر گرفتن  $N=20$ ,  $\theta=0$ ,  $D=40$ .

شکل (۴) پهنای باند انعکاس با تغییر ثابت دی الکتریک لایه دوم ( $\epsilon_2$ ) را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، پهنای باند انعکاس با افزایش ثابت دی الکتریک زیاد می‌شود.

(یعنی  $y$  و  $y + \Delta y$ ) را تنظیم کنیم که به صورت زیر به دست آمده است [۴].

که  $k_0 n_1 d_1 \cos \theta_1 \beta_1 = \frac{n_1}{z_0} \cos \theta_1 p_1$  (امواج TE)،  $k_0 n_1 d_1 \cos \theta_1 \beta_1 = \frac{n_1}{z_0} \cos \theta_1 p_1$  (امواج TM) با  $l = 1, 2$  و امپدانس خلاء  $Z_0 = \frac{\sqrt{\mu_0}}{\sqrt{\epsilon_0}}$  است. ضخامت طول تناوبی  $d_1$  و  $d_2$  با ضریب شکست  $n_1$  و  $n_2$  به ترتیب است. بنابراین ماتریس کل به صورت زیر است.

که  $N_1$  تعداد کل لایه‌ها در ساختار پلاسما - دی الکتریک در بلور فوتونیک یک بعدی است.  $M M_k$  هم ماتریس انتقال  $k$  امین لایه در ساختار پلاسما - دی الکتریک در بلور فوتونیک یک بعدی است. ضریب انعکاس این ساختار بدین صورت به دست آمده شده است:

$$(4) r = \frac{(m_{11} + m_{12} p_s) p_0 - (m_{21} + m_{22} p_s)}{(m_{11} + m_{12} p_s) p_0 + (m_{21} + m_{22} p_s)}$$

در اینجا  $p_0$  و  $p_s$  اولین و آخرین محیط از این ساختار است که توسط فرمول زیر به دست می‌آید:

$$p_0 = \frac{n_0 \cos \theta_0}{Z_0}$$

امواج TE)  $p_s = \frac{n_s \cos \theta_0}{Z_0}$  و  $p_0 = \frac{\cos \theta_0}{n_0 Z_0}$ ،  $p_s = \frac{\cos \theta_0}{n_s Z_0}$  (امواج TM) در مورد این ساختارمون، برای خلاء  $n_s = 1 n_0$  است.

### نتایج و محاسبات

فرض می‌شود ضریب گذردهی شیشه کوارتز،  $\epsilon_2 = 4$ ، ضخامت لایه‌ها  $d_1 + d_2 = 40$  mm، و پارامتر ساختاری لایه پلاسما بدین صورت است:

$$\omega_p = 2\pi \times 28.4 \times 10^9 \text{ rad/s}$$

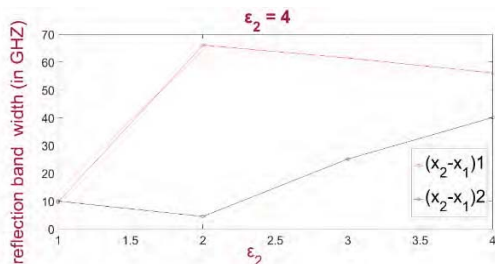
$$v_0 = 2\pi \times 10^6 \text{ rad/s} v_c$$

شکل (۲) نشان می‌دهد که در بازه فرکانسی حدود ۵۶ تا ۷۳ گیگا هرتز دارای بازتاب ۱۰۰٪ و عبور صفر هستیم که به آن

$M_1$

$M =$

$n_e =$



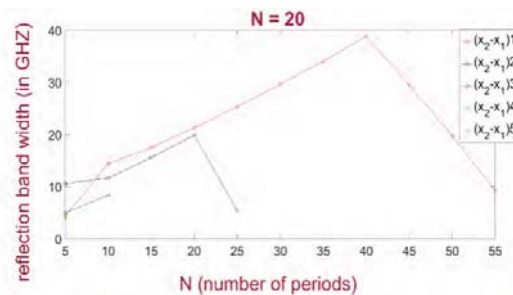
شکل (۷) پهنای باند انعکاس برحسب  $\epsilon_2$  با در نظر گرفتن  $N = 20$ ،  $D = 40$ ،  $\theta = 0$ .

### نتیجه گیری:

در ساختار پلازما-دی الکتریک پهنای باند انعکاس با افزایش تعداد تناوب ابتدا افزایش، سپس کاهش می‌یابد و تعداد باندهای انعکاسی کاهش می‌یابد. با افزایش ثابت دی الکتریک پهنای باند انعکاس افزایش و تعداد آن افزایش می‌یابد. با افزایش ضخامت تعداد باند انعکاس افزایش می‌یابد و از پهنای باند انعکاس کاسته می‌شود. قطبش  $TE$  و  $TM$  برای هر یک از تغییرات متفاوت است.

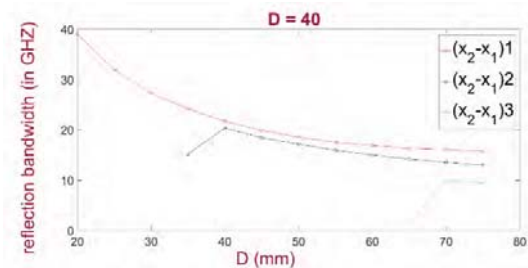
### مرجع ها

- [1] Guo, B. and X. Wang, Power absorption of high-frequency electromagnetic waves in a partially ionized magnetized plasma. *Physics of Plasmas*, 2005. **12**: p. 084506.
- [2] Vetrov, S.Y. and A.V. Shabanov, Localized electromagnetic modes and the transmission spectrum of a one-dimensional photonic crystal with lattice defects. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 2001. **93**(5): p. 977-984.
- [3] Zhang, H.-F., et al., Omnidirectional photonic band gap enlarged by one-dimensional ternary unmagnetized plasma photonic crystals based on a new Fibonacci quasiperiodic structure. *Physics of Plasmas*, 2012. **19**(11): p. 112102.
- [4] Qi, L., et al., Properties of obliquely incident electromagnetic wave in one-dimensional magnetized plasma photonic crystals. *Physics of Plasmas*, 2010. **17**(4): p. 042501.
- [5] Zhang, H.-f., et al., Comment on "Photonic bands in two-dimensional microplasma array. I. Theoretical derivation of band structures of electromagnetic waves" [*J. Appl. Phys.* 101, 073304 (2007)]. *Journal of Applied Physics*, (2)110.2011p. 026104.
- [6] Born, M.A.X. and E. Wolf, HISTORICAL INTRODUCTION, in *Principles of Optics* (Sixth Edition), M.A.X. Born and E. Wolf, Editors. 1980, Pergamon. p. xxi-xxviii.



شکل (۸) پهنای باند انعکاس برحسب  $N$  با در نظر گرفتن  $D = 40$ ،  $\theta = 0$ ،  $\epsilon_2 = 4$ .

شکل (۸) پهنای باند انعکاس با تغییر تعداد تناوب  $N$  را نشان می‌دهد که  $N$  تعداد تناوب‌های ساختار دولایه پلازما-دی الکتریک است. با افزایش تعداد تناوب، تعداد باندهای انعکاسی کمتر می‌شود. پهنای باندهای انعکاسی، ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد.



شکل (۹) نمودار پهنای باند انعکاس برحسب  $D$  با در نظر گرفتن  $\epsilon_2 = 4$ ،  $\theta = 0$ ،  $N = 20$ .

شکل (۹) پهنای باند انعکاس با تغییر ضخامت  $D$  را نشان می‌دهد. با افزایش ضخامت، به تعداد باندهای انعکاسی افزوده می‌شود. پهنای اولین باند انعکاس همواره کاهش، و پهنای دومین و سومین باند انعکاس ابتدا افزایش، سپس کاهش می‌یابد.

شکل (۷) بررسی قطبش  $TE$  برای ثابت دی الکتریک‌های متفاوت را نشان می‌دهد. با توجه به به شکل نمودار (۶) می‌توان مشاهده نمود که قطبش  $TE$  و  $TM$  از هم متفاوت اند.