

دانشگاه مازندران ۲۳ و ۲٤ تیرماه ۱٤۰۰

بررسی باند ممنوعه در طول کل ثابت در بلورهای فوتونی یک بعدی پلاسما-ابررسانا

ساناز عزیزی میری^{(*}، مهدی سلیمانی^۲ و ملیحه نجاتی^۳ ^۱ گروه فیزیک، دانشگاه قم، قم، ایرانss.azizimiri74@yahoo.com ^۲گروه فیزیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایرانmalihenejati@yahoo.com ۳ گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم، قم، ایران sazizimiri74@yahoo.com * آدرس نویسنده مسئول:s.azizimiri74@yahoo.com

کلید واژه: باند ممنوعه فوتونی، بلور های فوتونی یک بعدی پلاسما _ایررسانا، روش ماتریس انتقال

چکيده

در این مقاله انتشار امواج الکترومغناطیسی در یک بلور فوتونی یک بعدی پلاسما_بررسانا در طول کل ثابت بررسی شده است. همچنین اثر چگالی الکترونی پلاسما، تعداد لایهها و دمای ابررسانا را بر روی موقعیت و پهنای باند ممنوعه تحقیق شده است.

In vestigation of band gap in constant total length in one-dimensional plasmasuperconductor photonic crystal

Sanaz azizi miri¹*, Mahdi soleimani² and Malihe nejati³

¹*Department of physics, Qom University, Qom, Iran
 ²Department of Physics, Faculty of Mechanical Engineering, Qom University of Technology, Qom, Iran
 ³Physics Department, Faculty of Science, University of Qom, Qom, Iran
 *corresponding e-mail: <u>s.azizimiri74@yahoo.com</u>

Abstract

In this paper, the propagation of electromagnetic waves in a one-dimensional plasma-superconducting photonic crystal is investigated using the constant total system length. The effect of plasma electron density, Number of layers and superconducting temperature on the position and bandwidth of the forbidden band has also been investigated

مقدمه

است[۲]. بلورهای فوتونی از لایه های متناوب از مواد با ثابت در دیالکتریک های مختلف تشکیل شده اند که روی انتشار امواج ترو الکترومغناطیسی تاثیر می گذارند. ویژگی اصلی بلورهای فوتونی مای این است که می توانند انتشار امواج الکترومغناطیسی را در محدوده ییراً، خاصی، که باند ممنوعه فوتونی نامیده می شود ممنوع کنند [۳]. در واج سال ۲۰۰٤ مفهوم بلورهای فوتونی پلاسمایی توسط هوجو پیشنهاد شد[٤]. کاربردهای فنی بلورهای فوتونی پلاسمایی به مده طور گسترده ای در لنزهای پلاسما، آنتن پلاسما، هواپیماهای خته مخفی پلاسمایی و ... گسترش می یابد [۲].

برهم کنش امواج الکترومغناطیس با پلا سما مسأله مهمی در فیزیک پلا سما است[۱]. مطالعه انتشار یا پراکندگی امواج الکترو مغناطیسی از اجسام پلاسما به دلیل اهمیت آن در حوزه های کاربردی، توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. اخیراً، کاربردهای زیادی در مورد بازتاب، جاذب و عبور امواج الکترومغناطیسی بحث شده است. بلور فوتونی حوزهی است که در مطالعه بر همکنش امواج الکترومغناطیسی با پلاسما پدیده آمده که علاقه و افزایش فعالیت های تحقیقاتی زیادی را برانگیخته

هشتمین کنفرانس مهندسی و فیزیک یلاسما (PEP2021)



استفاده از پلاسما به عنوان یک محیط چند حالته و پراکنده، بلورهای فوتونی معمولی را به ساختارهای قابل کنترل تبدیل میکند. علاوه بر این، خصوصیات فیزیکی پلاسما توسط بسیاری از شرایط و نیروهای خارجی به راحتی قابل تغییر است[۳].

هنگامی که طول کل سیستم را ثابت نگه میداریم و هندسه داخلی یا خصو صیات فیزیکی آن را تغییر می دهیم، ممکن است بتوانیم پارامتر های فیزیکی بهینه را در دستیابی به نتایج نهایی مطلوب خود بدست آوریم. به این ترتیب امکان ابداع دستگاه های کوچکتر به وجود میآید زیرا ما کل طول سیستم را ثابت نگه داشته ایم[٥].

در این مقاله ما میخواهیم موقعیت و پهنای باند ممنوعه بلورهای فوتونی یک بعدی پلاسما_ابررسانا را با طول کل ثابت و با تغییر پارامترهای چگالی الکترونی پلاسما، تعداد لایهها و دما ابررسانا بررسی کنیم.

روش ماتریس انتقال و معادلات حاکم

در این مقاله یک بلور فوتونی یک بعدی دولایهای (...ABABABA...) در نظر میگیریم، که لایه A از پلاسیما سرد غیرمغناطیده غیربرخوردی و لایه A از پلاسیما سرد $T_c = 135 k$ ($T_c = 135 k$) ($T_c = 135 k$) که ابررسانای دما [٦] بالا است ($T_c = 135 k$) که ابررسانای دما [٦] بالا است. ما از روش ماتریس انتقال که مؤثرترین تکنیک برای تجزیه و ما از روش ماتریس انتقال که مؤثرترین تکنیک برای تجزیه و تحلیل خواص عبور در بلورهای فوتونی دوره ای محدود است استفاده کردیم[۳]. [Δ] ماتریس انتقال برای موج با قطبش در زوایه برخوردی θ از هوا به بلور فوتونی یک بعدی از طریق معادله زیر محاسبه می شود

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

(اعداد ۱ و ۲ به ترتیب مربوط به لایه A و B هستند.) که در آن C سرعت نور در خلأ، θ_i زاویه پرتو درون لایه i با ضریب شکست n_i و ضخامت d_i است و همچنین γ_i ، p_i و Θ_i به صورت زیر تعریف می شوند [۳].

$$p_{i} = \sqrt{\epsilon_{0}/\mu_{0}} (n_{i}\cos\theta_{i})$$
 (r)

$$\gamma_{i=}(\omega/c)n_{i}d_{i}\cos\theta_{i} \qquad (r)$$

$$\cos\theta_{i} = \sqrt{1 - (n_{0}^{2} \sin^{2}\theta_{0}/n_{i}^{2})} \qquad (\varepsilon)$$

ماتریس انتقال برای N دوره تناوب ^N[[M]] است و همچنین ضریب عبور ساختار به صورت زیر محاسبه می شود[۳]:

$$\mathbf{t} = \frac{2p_0}{(m_{11} + m_{12})p_0 + (m_{21} + m_{22}p_s)} \tag{0}$$

$$\begin{split} [M[d]]^{N} & \text{order the states} m_{ij} = (i.j = 1.2) \text{ order the states} m_{ij} = (i.j = 1.2) \\ \text{period} p_{ij} = (i.j = 1.2)$$

مرتبط با ضریب گذردهی محیطهای متشکل میباشند. لذا لازم است ابتدا گذرهی محیطها را مورد بررسی قرار دهیم.

تابع گذردهی پلاســما سـرد غیر مغناطیده غیربرخوردی به صورت زیراست:

 $\varepsilon_3(\omega, B) = 1 - \frac{\omega_{pe}^2}{\omega^2}$ (۸) که درآن ω و w_p به ترتیب فرکانس زاویهای و فرکانس پلاسما است که به صورت زیر نشان داده می شود:

 $\omega_{pe} = \sqrt{n_e e^2 / m \epsilon_0} \tag{9}$

همچنینe، e، n_e ، ε و m به ترتیب گذردهی فضای آزاد، چگالی الکترون، بار و جرم الکترون *میباشند*[۳].

گذردهی برای محیط ابررسانا بدون اتلاف به صورت زیر بدست میآید:

$$\varepsilon_{\rm r} = 1 - \frac{\omega_{\rm th}^2}{\omega^2}$$
 (۱۰)
که در آن:

 $\omega_{\rm th} = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0 \lambda_{\rm L}^2} \tag{11}$

انجمن علوم و مهندسی پلاسمای ایران



در اینجا $arpha_{th}$ فرکانس آستانه و λ_L عمق نفوذ وابسته به دما ابررسانا است که از رابطه زیر بدست می آید:

$$\lambda_{\rm L}({\rm T}) = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1-(\frac{T}{T_c})^p}} \tag{17}$$

$$Z = 0 \ K \ J_{\rm L}({\rm T}) = 0 \ K \ J_{\rm L}({\rm T}) = 0 \ K \ J_{\rm L}({\rm T}) = 0 \ J_{\rm L}({\rm T}) = 0$$

بحث و نتايج

بر اساس ساختار بلور و معادلات پایه که در بخش قبل بیان شد با استفاده از روش ماتریس انتقال با تغییر پارامترها طیف عبور بررسی میشود.

در قسمت اول ضخامت لایه پلاسما و ابررسانا برابر است(d_A = d_B = 300 nm). در شکل ۱ اثر چگالی الکترونی پلاسما را روی مکان و پهنای باند ممنوعه بررسی میکنیم. نمودار رسم شده بیانگرعبور موج قطبیده TE به عنوان تابعی از فرکانس است که در آن طول کل سیستم ۲۰۰۰ نانومتر و تعداد کل لایه ها

۱۰ است (N=10) و چگالی پلاسما از مرتبه 10²⁸ است [۸]. به وضوح مشخص است که با افزایش چگالی پلاسما پدیده blue shift مشاهده می شود و موقعیت باند ممنوعه به سمت فرکانس های بالاتر می رود، همچنین با افزایش چگالی باندهای ممنوعه جدیدی از سمت فرکانس های کمتر تشکل می شوند.

در شکل ۲ عبور موج بر حسب فرکانس با طول کل ثابت در شکل ۲ عبور موج بر حسب فرکانس با طول کل ثابت ۲۰۰۰ نانومتر و $m^{-3} = n_e = 3 \times 10^{28} m^{-3}$ است که در آن تاثیر تعداد لایهها بر موقعیت و پهنای باند ممنوعه بررسی میکنیم. به ازای پیکر بندی ثابت مشاهده می شود که با افزایش تعداد لایهها پدیده blue shift اتفاق می افتد و پهنای باند ممنوعه افزایش می یابد.

در شکل ۳ عبور موج بر حسب فرکانس با طول کل ثابت ۲۰۰۰ نانومتر، N = 20 و $N = 3 imes 10^{28} m^{-3}$ است که در آن تاثیر دما ابررسانا را بر باند ممنوعه بررسی میکنیم. همان طور

که این شکل نشان میدهد به ازای پیکربندی ثابت با افزایش دمای ابررسانا، یدیده red shift مشاهده می شود.



شکل ۱. اثر چگالی الکترونی پلاسما روی باند ممنوعه $n_e=3 imes10^{28}\ m^{-3}$ (نمودار آبی، قرمز و سبز به ترتیب مربوط $n_e=3 imes10^{28}\ m^{-3}$) $n_e=4 imes10^{28}\ m^{-3}$

نتيجه گيرى

در این مقاله، انتشار امواج الکترومغناطیسی در یک بلور فوتونی یک بعدی پلاسما_ابررسانا در طول کل ثابت بررسی شد. در این کار، موقعیت و پهنای باند ممنوعه بلورهای فوتونی یک بعدی پلا سما_ابرر سانا را با طول کل ثابت و با تغییر پارامترهای چگالی الکترونی پلاسما، تعداد لایهها و دمای ابررسانا بررسی کردیم. نتایج عددی نشان داد که با ساختار پیشنهادی و پارامترهای ثابت، با افزایش چگالی پلاسما و تعداد لایهها، موقعیت باند ممنوعه به سمت فرکانسهای بالاتر میرود. زمانی که تعداد لایهها افزایش پیدا کند، پهنای باند نیز بزرگتر می شود. با افزایش دمای ابرر سانا هشتمین کنفرانس مهندسی و فیزیک پلاسما (PEP2021)







[1] Ginzburg, V. L. (1970). The propagation of

electromagnetic waves in plasma. [2] Bin, G. (2009). Transfer matrix for obliquely

incident electromagnetic waves propagating in one dimension plasma photonic crystals. *plasma Science and Technology*, *11*(1), 18.

[3] Aghajamali, A. (2016). Transmittance properties in a magnetized cold plasma–

superconductor periodic multilayer. *Applied optics*, 55(23), 6336-6340.

[4] Hojo, H., & Mase, A. (2004). Dispersion relation of electromagnetic waves in onedimensional plasma photonic crystals. *Journal of Plasma and Fusion Research*, 80(2), 89-90.

[5] Solaimani, M., Ghalandari, M., & Aghajamali, A. (2020). Band gap engineering in constant total length nonmagnetized plasmadielectric multilayers. *Optik*, 207, 164476

[6] Sadegzadeh, S., & Mousavi, A. (2017). A Comparative Study of a Defective Superconductor/Semiconductor-Dielectric

Photonic Crystal. International Journal of Physical and Mathematical Sciences, 11(7), 247-250.

[7] Tinkham, M. (2004). *Introduction to superconductivity*. Courier Corporation.

[8] Elsayed, H. A., & Abadla, M. M. (2020). Transmission investigation of one-dimensional Fibonacci-based quasi-periodic photonic crystals including nanocomposite material and plasma. *Physica Scripta*, *95*(3), 0 ،باند ممنوعه بزرگتر می شود. که نتایج حاکی از آن است که امکان کنترل باند ممنوعه را در ساختار بلور فوتونی پیشنهادی فراهم می کند.



