بیست و هشتمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و چهاردهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شهید چمران اهواز،
خوزستان، ایران.
۱۴-۱۲ بهمن ۱۴۰۰

ارزیابی برخی از عوامل موثر بر فیلترهای تنظیم پذیر بلور مایع/ بلور فوتونی

علی واحدی[۱]، فیروز واحدی[۲]

گروه فیزیک، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

vahedi@iaut.ac.ir, fi.vahedi@gmail.com

چکیده – در این پژوهش فیلترهای تنظیم‌پذیرچند کاناله بر پایه بلورهای فوتونی یک بعدی سه گانه حاوی بلور مایع مورد بررسی قرار گرفت. با تغییر پارامترهایی از قبیل ضریب شکست بلور مایع، ضخامت لایه های سه گانه بلور فوتونی، ضخامت لایه فلزی و لایه نقص و با انتخاب ناحیه ی فرکانسی مناسب عبور نور بصورت تابعی از فرکانس شبیه سازی می شود. نتایج نشان می دهند برای فرکانسهای پایینتر از ۲۰۰۰ ترا هرتز و تعداد N=۳ لایه مدهایی با بیشترین شدت و N=٦ مد هایی با کمترین شدت وجود دارند. با افزایش ضخامت بلور مایع به ۲ میکرومتر تعداد مدهای نقص از ۴ مد فیلتر شده به ۷ مد رسیده و شدت مدهای میانی نیز بصورت چشمگیری افزایش می یابند .

کلید واژه- بلور مایعها، بلورهای فوتونی، فیلترهای چند کاناله، مواد ناهمسانگرد نوری

Evaluation of some affecting factors on liquid crystal / photonic crystal adjustable filters

Ali Vahedi[۱], Firuz Vahedi[۲]

Department of Physics, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran.

Faculty of Physics, University of Tabriz, Tabriz, Iran

vahedi@iaut.ac.ir, fi.vahedi@gmail.com

Abstract- In this research, multi-channel adjustable filters based on one-dimensional photonic crystals contain of anisotropic liquid crystal have been reviewed and studied. Firstly, by entering parameters such as liquid crystal refractive index, thickness of triple photonic crystal layers, metal and defect layer thickness, and also by selecting the appropriate frequency area, the transmittance matrix of system is calculated, then after transmittance is simulated as a function of frequency. The results show that for frequencies below ۲۰۰۰ THz and N= ۳ layers, structure has the maximum modes and N = ٦ has the lowest transmittance. By increasing the thickness of the liquid crystal to ۲ micrometers, the number of modes has increased from ٤ filtering modes to ۷ modes, also peak of modes increase intensely in the middle frequency.

Keywords: Biosensors, Bragg reflector, Graphene, Photonic Crystals, Tamm states

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

مقدمه

در صورت ایجاد اختلال یا نقص در ساختار بلورهای فوتونی می‌توان به فرکانس‌هایی دست یافت که در داخل باند ممنوعه قرار دارند و مجاز به انتشار هستند که به مدهای جایگزیده یا نقص معروفند. وجود مدهای جایگزیده در باند توقف فوتونی می‌تواند به عنوان یک تشدید کننده یا فیلتر با ضریب کیفیت بالا مورد استفاده قرار گیرد. بلورهای مایع به خاطر تاثیرپذیری از عوامل خارجی و همچنین ناهمسانگرد بودن در کنار لایه‌های بلورهای فوتونی می توانند بسیار مفید واقع شوند [۲-۱]. اولین ساختاربلور فوتونی مبتنی بر بلور مایع قابل تنظیم توسط اوزاکی و همکاران آن بود که از یک بلور مایع نماتیک هم راستا به عنوان نقص استفاده کردند. در این تحقیق بلور مایع بین دو بلور فوتونی یک بعدی قرار گرفته بود. سپس این ایده برای ساختارهای بلور فوتونی و بلورمایع کلسترول برای کاربردهای لیزر قابل تنظیم استفاده شد[۵-۳] . زیریانوف و همکاران دستگاه هیبریدی PC / LC را با اعمال میدان الکتریکی بررسی کردند نتایج تجربی آنها ویژگی های جذاب تنظیم مد نقص را نشان می دهد[۶]. در این کار فیلترهای تنظیم پذیر چند کاناله بر پایه بلورهای فوتونی ناهمسانگرد یک بعدی حاوی بلور مایعها شبیه سازی شده است.

ساختار فیلترهای تنظیم پذیر مورد استفاده

بلورفوتونی یک بعدی با ساختار $(aMb)^N D (aMb)^N$ را در نظر می گیریم. a وb نشان دهنده دو ماده دی- الکتریک همسانگرد با ضخامت d_a و d_b و D لایه نقص بلورمایع (L.C) نماتیک ناهمسانگرد تک محوره با ضخامت d_D و N تعداد دوره تناوب است. M نشان دهنده لایه فلزی نقره است. گذردهی نسبی لایه های a و b با ϵ_a و ϵ_b نشان داده می شود. دمای گذار نماتیک به همسانگرد بلور مایع ۵□□ برابر 34^o c است. در دمای اتاق این بلور مایع دو ضریب شکست عادی n_o و غیر عادی n_e دارد. با افزایش دما مقدار هردو ضریب شکست با آهنگ مختلف تغییر می‌یابند، و بلور مایع به حالت همسانگرد خود تبدیل می‌شود و مقادیر n_o و n_e با یکدیگر برابر می‌شوند.

a	M	b	a	M	b	L.C	b	M	a	b	M	a

شکل ۱: ساختار بلور فوتونی به همراه فلز و لایه نقص بلور مایع ۵□□

تانسور دی الکتریک لایه نقص ناهمسانگرد در دستگاه مختصات نشان داده شده به صورت شکل زیراست [۸]:

$$\epsilon_D = \begin{pmatrix} n_e^2\cos^2\phi + n_o^2\sin^2\phi & (n_e^2 - n_o^2)\sin^2 2\phi & 0 \\ (n_e^2 - n_o^2)\sin^2 2\phi & n_e^2\cos^2\phi + n_o^2\sin^2\phi & 0 \\ 0 & 0 & n_o^2 \end{pmatrix}$$

ϕ زاویه بین محورنوری لایه نقص و محور X است. برای موارد $\varphi = 0$ و $\varphi = 90$، تانسور دی الکتریک لایه نقص LC ساده ترخواهد بود روش ماتریس انتقال 2×2 می تواند در بررسی خواص نوری این ساختار استفاده شود. ماتریس انتقال هر یک از لایه ها می تواند بصورت زیر نوشته شود:

$$m_i = \begin{bmatrix} \cos(\beta_i) & \frac{1}{n_i}\sin(\beta_i) \\ -n_i\sin(\beta_i) & \cos(\beta_i) \end{bmatrix}$$

$$\beta_i = \frac{2\pi n_i d_i}{\lambda} \qquad (i = a, M, b, LC)$$

ماتریس انتقال کل ساختار (با بلورمایع) ازحاصلضرب ماتریسها بدست می آید.

$$M_1 = (m_a m_M m_b)^N, \quad M_2 = (m_b m_M m_a)^N$$

$$M = M_1 m_{LC} M_2 = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix}$$

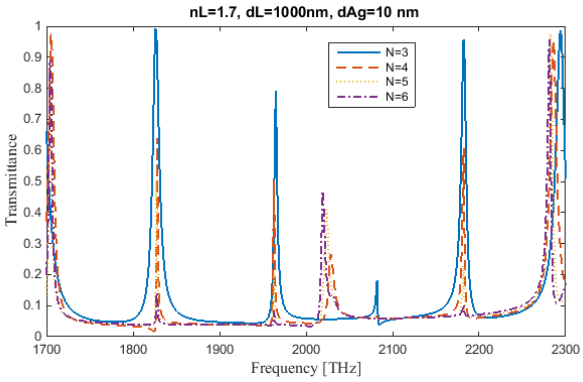
$$t = \frac{4}{|M_{11} + M_{22}|^2 + |M_{12} + M_{21}|^2}$$

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

که t مقدار نورعبوری ازسیستم بلور فوتونی را نشان می دهد.

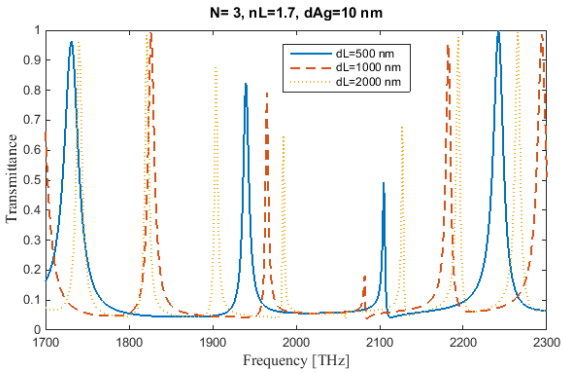
نتایج

در این کار منیزیم فلوراید (n=۱،۳۸) و تیتانیم اکساید (n=۲،٤٦) به عنوان لایه های دی الکتریک و نقره هم به عنوان فلز درنظر گرفته می شوند،که ضخامتهای آنها به ترتیب برابر ۹۰ و ۹۰ و ۲۰ (بعضا متغیر) نانومتر می باشد. ضریب شکست لایه فلز از مدل درود تعیین می شود. لایه نقص از یک ماده ناهمسانگرد بلور مایع □□۵ پر می شود. شکل ۲ در یک بازه فرکانسی محدود باند ممنوعه و مدهای نقص را نشان می دهد. مطابق شکل ۲ تعداد ۴ مد نقص در بازه فرکانسی ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ ترا هرتز وجود دارد که برای N=۳ شدت سه تا از مدها زیاد است با افزایش تعداد لایه های سه گانه شدت مدهای بزرگتر کاهش و شدت مد نقص کوچکتر مقداری تقویت می شود. محل مدهای نقص اصلی بسیار جزئی و محل مد نقص کوچکتر به طور محسوستری با افزایش تعداد لایه ها به سمت فرکانسهای کوچکتر جابجا می شوند. به نظر می رسد N=۳ بهینه حالت ساختار هست.



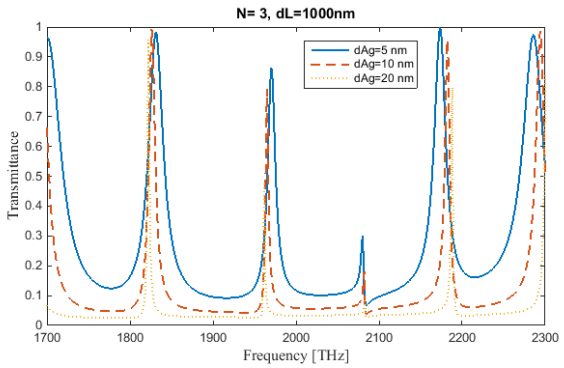
شکل ۲ : مدهای نقص بلور فوتونی سه گانه بر حسب فرکانس

شکل ۳ وابستگی مدهای نقص به تغییرات ضخامت لایه بلور مایع در بازه فرکانسی باند ممنوعه را نشان می دهد. مطابق شکل ۳ تعداد ۴ مد نقص در بازه فرکانسی مشخص **برای** dl=۵۰۰ nm وجود دارد با افزایش ضخامت بلور مایع به ۱۰۰۰ nm تعداد قله ها زیادتر شده و اکثرا به سمت فرکانسهای بزرگتر شیفت پیدا می کنند. همچنین شدت مدهای نقص و پهنای مدها کمتر می شود اما برای ضخامت ۲۰۰۰ nm شدت مدهای بزرگتر و تعداد آنها بیشتر می شود. پهنای مدها نیزکمتر شده و فیلتر در بازه فرکانسی باریکتری انجام می گیرد. مطابق این شکل ضخامت یک و دو میکرومتر برای بلور مایع نتیجه مطلوبتری دارد.



شکل ۳ : وابستگی مدهای نقص با تغییرات ضخامت لایه بلور مایع

شکل ۴ تاثیر ضخامت لایه نقره بر مدهای نقص را نشان می دهد. مطابق این شکل با افزایش ضخامت لایه نقره تعداد مدهای نقص ثابت مانده و محل قله ها جابجایی محسوسی ندارند. با افزایش ضخامت نقره از ۱۰ به ۲۰ نانومتر تغییر قابل توجهی در بعضی از مدها دیده می شود. پهنای مدهای نقص که معمولا با پارامتر پهنا در نصف ارتفاع بیشینه (FWHM) تعیین می شود کاهش محسوسی را نشان می دهد و همه قله ها باریکتر و تیزتر می شوند. به ازای ضخامتهای ۱۰ و ۲۰ نانومتر برای نقره نتایج بهتر هستند.

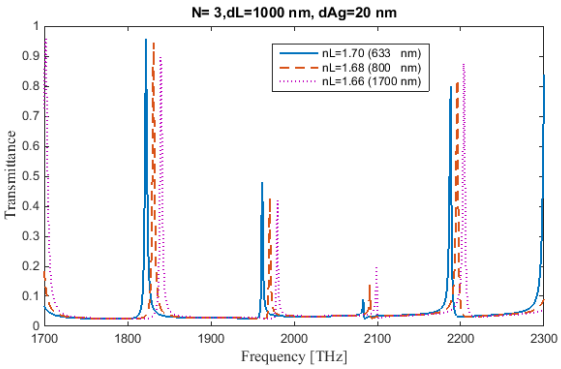


شکل ۴ : تاثیر ضخامت لایه نقره بر مدهای نقص

در این قسمت به ازای پارامترهای بهینه شده در قسمتهای قبلی، اثر تغییرات طول موج نور تابشی (پاشندگی) و

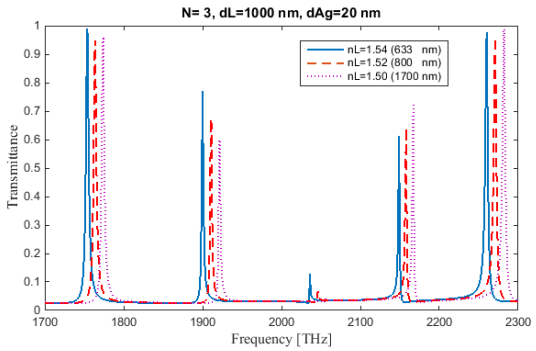
[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

ناهمسانگردی لایه بلور مایع بر مدهای نقص سیستم شبیه سازی می شود. شکل ۵ مدهای نقص را در سه طول موج تابشی ۶۳۳، ۸۰۰ و ۱۷۰۰ نانومتر نشان می دهد. ضریب شکست بلور مایع در هر طول موج برای پرتوهای قطبیده غیرعادی (n_e) در نظر گرفته شده است که بلور مایع □□۵ در دمای اتاق این مقادیر را دارا می باشد[۵]. با افزایش طول موج نور تابشی همه مدها به سمت فرکانسهای بزرگتر جابجا می شوند یعنی جابجایی آبی داریم. شدت پیکها با افزایش طول موج نور تابشی برای دو سری از پیکهای سمت چپی کاهش و برای دو سری از پیکهای سمت راستی افزایش پیدا می کند. برای همه حالتها تیزی منحنی ها تقریبا یکسان و بسیار خوب می باشد.



شکل ۵ : مدهای نقص در سه طول موج ۶۳۳، ۸۰۰ و ۱۷۰۰ نانومتر برای ضریب شکست n_e

شکل ۶ مدهای نقص را در سه طول موج تابشی ۶۳۳، ۸۰۰ و ۱۷۰۰ نانومتر برای ضریب شکست n_o نشان می دهد. ضریب شکست بلور مایع در هر طول موج برای پرتوهای قطبیده عادی (n_O) در نظر گرفته شده است که بلور مایع 5CB در دمای اتاق این مقادیر را دارا می باشد. با افزایش طول موج نور تابشی همه مدها به سمت فرکانسهای بزرگتر جابجا می شوند یعنی شیفت آبی داریم. در حقیقت تغییر مدها نشان دهنده اثر ناهمسانگردی برای دو نوع آرایش مولکولی عمودی و موازی (n_e و n_o) می باشد و می تواند سبب کاهش شدت مدهای عبوری و شیفت آبی آنها می شود.



شکل ۶ : مدهای نقص در سه طول موج تابشی ۶۳۳، ۸۰۰ و ۱۷۰۰ نانومتر برای ضریب شکست n_o

مرجع‌ها

[۱] C. T. Wang, C. W. Chen, T. H. Yang, et al. “Electrically assisted bandedge mode selection of photonic crystal lasing in chiral nematic liquid crystals”. Appl. Phys. Lett.;۱۱۲(٤):۰٤۳۳۰۱, ۲۰۱۸.

[۲] E. Yablonovitch, “Inhibited spontaneous emission of photons in solid-state physics and electronics”, Phys. Rev. Lett. ۵۸(۲۰), pp. ۲۰۵۹–۲۰۶۱, ۱۹۸۷ .

[۳] Ozaki R, Ozaki M, Yoshino K. Defect mode in one-dimensional photonic crystal with in-plane switchable nematic liquid crystal defect layer. Japanese Journal of Appl. Phys.;٤۳(۱۱B): L۱٤۷۷-L۱٤۷۹, ۲۰۰٤.

[٤] Ye L, Wang Y, Feng Y, et al. Thermally switchable photonic band-edge to random laser emission in dye-doped cholesteric liquid crystals. Las. Phys. Lett. ;۱۵(۳):۰۳۵۰۰۲, ۲۰۱۸.

[۵] E. C. Economou, J. Lovejoy, et al. Electrically tunable open-stub bandpass filters based on nematic liquid crystals. Phys. Rev. Appl. Dec ۱۲;۸(٦):۰٦٤۰۱۲. ۲۰۱۷.

[٦] G. Nava, F. Ciciulla, F. Simoni, et al. Heliconical cholesteric liquid crystals as electrically tunable optical filters in notch and bandpass configurations. Liq. Crys. Apr ۳:۱-۰. ۲۰۲۱.

[۷] V. A. Gunyakov, A. M. Parshin, I. V. Timofeev, V. Y. Zyryanov “Eigenmodes in a photonic structure with a torsion-deformed nematic liquid crystal exposed to a magnetic field.” Phys. Rev. E.;۱۰۲(٤):۰٤۲۷۰۱. ۲۰۲۰.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]