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

مطالعه اثر پاکلز بر روی فیلترهای اپتیکی در یک ساختار لایه ای یک بعدی حاوی مواد کایرال شبه همسانگرد الائیده شده با نانوذرات فلزی

سیمین شیرین، امیر مدنی و صمد روشن انتظار

گروه مهندسی اپتیک و لیزر، دانشگاه بناب، بناب، آذربایجان شرقی

دانشکده فیزیک، دانشگاه تبریز، تبریز

siminshirin۲۰۰۰@gmail.com; a-madani@ubonab.ac.ir; s-roshan@tabriz.ac.ir

چکیده – در این مقاله انتشار امواج الکترومغناطیسی از یک بلور فوتونی یک بعدی حاوی مواد نانوکامپوزیت کایرال‌ساختاری شبه همسانگرد الکترواپتیکی در غیاب و همچنین در حضور میدان الکتریکی با فرکانس پایین بررسی شده است. در غیاب ولتاژ اعمال شده و نانوذرات فلزی، یک گاف باند فوتونی مستقل از قطبش دایروی در طیف عبور ایجاد می‌شود. در حضور ولتاژ اعمال شده، این گاف باند فوتونی به یک گاف باند فوتونی حساس به قطبش دایروی تبدیل می‌شود. همچنین نشان داده شده‌است که ولتاژ اعمال شده باعث افزایش عرض این گاف باند می‌شود. علاوه بر این، ولتاژ اعمال شده می‌تواند یک گاف باند فوتونی جدید را که مستقل از قطبش است، حتی زمانی که چنین گاف باندی در غیاب میدان الکتریکی با فرکانس پایین وجود ندارد، باز کند. همچنین ما اثر نانوذرات فلزی را نیز در طیف عبور این ساختار بررسی کردیم و نشان دادیم که یک گاف باند جدید مستقل از قطبش و ولتاژ در طیف عبور ساختار خلق می‌شود که ناشی از تحریک پلاسمون‌های سطحی بوده و موقعیت آن وابسته به جنس نانوذرات جابجا می‌شود.

کلید واژه-اثر پاکلز، شبه همسانگرد، فیلترهای اپتیکی، کایرال ساختاری، نانوکامپوزیت.

Study of Pockels Effect on The Optical Filters in Chiral Materials Doped with Metal Nanoparticles

Simin Shirin۱, Amir Madani۱, and Samad Roshan Entezar۲

۱□□□□□□□□□□□ □□ □□□□□ □□□ □□□□□□□ □□□□□□□□□□□□, □□□□□□□□□□□ □□ □□□□□, □□□□□

۲ □□□□□□□ □□ □□□□□□□, □□□□□□□□□□□ □□ □□□□□□, □□□□□□, □□□□

Commented [WU۱]: اسم و فامیل طبق قالب بیاید

Commented [WU۲]: ایمیل ها یکسان و ساده بیایند

Commented [WU۳]: به ترتیب الفبا شود

Commented [WU٤]: حروف اول بزرگ شود- فونت طبق قالب شود

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02]

Siminshirin۲۰۰۰@gmail.com; a-madani @ ubonab.ac.ir; s-roshan@tabriz.ac.ir

Abstract- In this paper, the propagation of electromagnetic waves from a one-dimensional photonic crystal containing pseudo-isotropic nanocomposite structurally chiral materials in the absence and also in the presence of a low-frequency electric field is investigated. In the absence of applied voltage and metal nanoparticles, a photonic bandgap independent of circular polarization is created in the transmission spectra. In the presence of applied voltage, this photonic bandgap converted to a photonic bandgap sensitive to circular polarization. Also, it is shown that the applied voltage increases the width of this bandgap. In addition, it is observed that the applied voltage can even open a new photonic bandgap which is independent of the polarization when such a bandgap is not there in the absence of the low-frequency electric field. Also, due to the presence of metallic nanoparticles, this structure shows a new bandgap independent of polarization and voltage. Also, the effect of the material of metal nanoparticles on the transmission spectra of this structure is considered.

Keywords: Pockels effect, pseudo-isotropic, optical filters, structurally chiral, nanocomposite.

Commented [WUo]: حروف اول بزرگ شود-تا پایان کیبورد به صفحه اول منتقل شود

مقدمه

اخیراً، محیط‌های نانوکامپوزیت کایرال‌ساختاری(NSCM) توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. این ساختارها از یک محیط کایرال‌ساختاری (SCM) ساخته شده‌اند که نانوذرات فلزی به طور تصادفی در داخل آنها پراکنده شده‌است[۱]. یک محیط SCM، مانند بلورهای مایع کلستریک، الاستومرهای کایرال، یا یک لایه نازک مجسمه سازی شده کایرال (CSTF)[۳-۲] دارای یک ناهمگنی دوره‌ای است که از چرخش مداوم خواص دی‌الکتریک ناهمسانگرد با سرعت یکنواخت در امتداد یک محور خاص ایجاد می‌شود. SCMهای شبه همسانگرد نیز نوع خاصی از این مواد هستند که در غیاب میدان الکتریکی، علارغم وجود ناهمگنی و ناهمسانگردی، شبیه به یک محیط همسانگرد و همگن رفتار می‌کنند و قادر به ایجاد تمایز بین امواج قطبیده دایروی راستگرد و چپگرد نمی‌باشند [۴]. از کاربردهای بسیار مهم این مواد می‌توان به طراحی و ساخت فیلترها قطبش دایروی اشاره کرد[۱]. هدف ما در این مقاله کنترل الکتریکی خواص اپتیکی بلورهای فوتونی یک بعدی حاوی موادNSCM شبه همسانگرد می‌باشد.

مدل ساختار و تئوری

ســـاختار مورد مطالعه یک بلور فوتونی یک بعدی با آرایش $(AB)^N$است که در محیط آزاد قرار گرفته‌است(شکل ۱). لایه اول، یک ماده دی‌الکتریک با مشخصات $\varepsilon_A = 5$ و ضخامت $d_A = 0.2\times p$ و لایه‌ی دیگر یکNSCM با ضخامت $d_B = 2\times p$ می باشد که گام ساختار $p = 270\,nm$ است. تعداد لایه‌های بلور فوتونی N=۱۰ اســـت. جهت x را جهت دوره‌ای و ناهمگنی ســـاختار در نظر گرفته‌ایم. تانســـور دی‌الکتریک ماده کایرال تحت تاثیر میدان الکتریکی خارجی به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\vec{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_1^{(0)} & -r_{63}\varepsilon_1^{(0)2}E_3^{dc} & -r_{41}\varepsilon_1^{(0)}\varepsilon_3^{(0)}E_2^{dc} \\ -r_{63}\varepsilon_1^{(0)2}E_3^{dc} & \varepsilon_1^{(0)} & -r_{41}\varepsilon_1^{(0)}\varepsilon_3^{(0)}E_1^{dc} \\ -r_{41}\varepsilon_1^{(0)}\varepsilon_3^{(0)}E_2^{dc} & -r_{41}\varepsilon_1^{(0)}\varepsilon_3^{(0)}E_1^{dc} & \varepsilon_3^{(0)} \end{pmatrix} \qquad (۱)$$

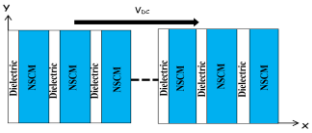
در اینجا $E_k^{dc}(k=1,2,3)$ مولفه‌های اصلی میدان‌الکتریکیdc، $\varepsilon_1^{(0)} = \varepsilon_2^{(0)}$ و $\varepsilon_3^{(0)}$ گذردهی‌های اصلی در ناحیه اپتیکی و r_{JK} ضرایب الکترواپتیک با $1\le J\le 6$ و $1\le k\le 3$ هستند. به طور خاص، در اینجاSCM یک محیط تک محوی دارای تقارن گروه نقطه‌ای $\bar{4}2m$ است که تنها ضرایب الکترواپتیکی r_{52}, r_{41} و r_{63} غیر صفر می‌باشند و $r_{52} = r_{41}$ است. پیکربندی خاص میدان الکتریکی به صورت $E_1^{dc} = E_2^{dc} = 0, E_3^{dc} = \frac{V_{dc}}{L}$ در نظر گرفته‌شده‌است. شکل ماتریسی معادلات ماکسول در محیط غیرمغناطیسی NSCM با تعریف چهار مولفه $\psi(x) = (e_y, e_z, h_y, h_z)$ به فرم زیر است :

$$\frac{\partial\psi(x)}{\partial x} = ik_0 A(x)\psi_0(x) \qquad (۲)$$

که در آن ماتریس$A(x)$عبارت است از

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02]

$$A(x)=\begin{pmatrix} -\frac{k_y\varepsilon_{xy}(x)}{k_0\varepsilon_{xx}(x)} & -\frac{k_y\varepsilon_{xz}(x)}{k_0\varepsilon_{xx}(x)} & 0 & -\frac{k_y^2\varepsilon_{yy}(x)}{k_0^2\varepsilon_{xx}(x)} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\varepsilon_{zy}(x) & \frac{k_y^2}{k_0^2}-\varepsilon_{zz}(x) & 0 & \frac{k_y\varepsilon_{zx}(x)}{k_0\varepsilon_{xx}(x)} \\ \varepsilon_{yy}(x) & \varepsilon_{yz}(x) & 0 & -\frac{k_y\varepsilon_{yx}(x)}{k_0\varepsilon_{xx}(x)} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \frac{\varepsilon_{zx}(x)\varepsilon_{xy}(x)}{\varepsilon_{xx}(x)} & \frac{\varepsilon_{zx}(x)\varepsilon_{xz}(x)}{\varepsilon_{xx}(x)} & 0 & 0 \\ -\frac{\varepsilon_{yx}(x)\varepsilon_{xy}(x)}{\varepsilon_{xx}(x)} & -\frac{\varepsilon_{yx}(x)\varepsilon_{xz}(x)}{\varepsilon_{xx}(x)} & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (۳)$$



شکل ۱: بلور فوتونی یک بعدی حاوی NSCM در حضور میدان الکتریکی با فرکانس پایین.

در این رابطه $\varepsilon_{i,j}(x)\ (i,j=x,y,z)$ عناصر تانسور دی الکتریک محیط نانوکامپوزیتی و $q=2\pi/p$ است. دو گذردهی موثر برای محیط نانوکامپوزیتی با اعمال معادله ماکسول گارنت تعمیم یافته[۵] عبارت است از

$$\varepsilon_1^e(\omega)=\varepsilon_1\left[1+\frac{f}{\varepsilon_1/(\varepsilon_m(\omega)-\varepsilon_1)+(1-f)/3}\right],$$
$$\varepsilon_3^e(\omega)=\varepsilon_1\left[1+\frac{f}{\varepsilon_3/(\varepsilon_m(\omega)-\varepsilon_3)+(1-f)/3}\right] \quad (۴)$$

که $\varepsilon_m=\varepsilon_0-\frac{\omega_p^2}{\omega(\omega+i\gamma)}$ گذردهی ذرات فلزی است که از مدل درود تبعیت می‌کند و f فاکتور پرشوندگی نانوذرات می‌باشد. با استفاده از روش ماتریس انتقال[۶] می‌توان ضرایب بازتاب و عبور ساختار را بدست آورد. ماتریس انتقال یک تک سلول شامل NSCM الکترواپتیکی و دی‌الکتریک $M=M_{NSCM}.M_{dielectric}$ است. ضرایب بازتاب و تراگسیل برای یک موج تخت قطبیده دایروی فرودی با فرم ماتریسی زیر بدست آمده‌است:

$$\begin{pmatrix} t_R \\ t_L \\ r_R \\ r_L \end{pmatrix}=\begin{pmatrix} t_{RR} & t_{RL} \\ t_{LR} & t_{LL} \\ r_{RR} & r_{RL} \\ r_{LR} & r_{LL} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} a_R \\ a_L \end{pmatrix} \quad (۵)$$

که a_R، r_R و t_R به ترتیب دامنه‌های نور تابشی، بازتابی و عبوری با قطبش راستگرد و نماد L برای قطبش چپگرد است. همچنین t_{RR} و t_{LL} ضرایب تراگسیل نور هم‌قطبش و t_{RL}، t_{LR} ضرایب تراگسیلی نور با قطبش متقاطع هستند. برای نور بازتابی نیز به روش مشابه نمادگذاری می‌شود.

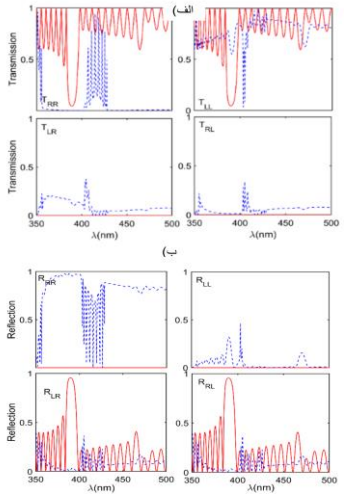
نتایج عددی و بحث

در محاسبات عددی، SCM الکترواپتیکی با $\varepsilon_1=\varepsilon_2=2.7$، $\varepsilon_3=3.2$، $r_{41}=9\times10^{-12}mV^{-1}$، $r_{63}=3r_{41}$، $p=270\ nm$ و نانوذرات نقره با $\varepsilon_0=5$، $\omega_p=1.367\times10^{16}\ Hz$ و $\gamma=3.03\times10^{13}\ Hz$ و نانوذرات طلا با $\varepsilon_0=3.559$، $\omega_p=1.338\times10^{16}\ Hz$ و $\gamma=5.71\times10^{13}\ Hz$ فرض شده‌است. لایه دیگر با $n_{dielectric}=2.24$ در نظر گرفته‌ایم. در شکل۲، به ترتیب الف) طیف عبور و ب) بازتاب امواج هم‌قطبش و پادقطبش دایروی را به صورت تابعی از طول‌موج تحت تابش قائم و در غیاب نانوذرات فلزی برای دو مقدار ولتاژ اعمال‌شده، V =۰ (خط ممتد) و V = ۲kV(خط چین) رسم کرده‌ایم. از این شکل مشخص است که در غیاب ولتاژ خارجی علی رغم وجود ناهمگنی و ناهمسانگردی در ساختار، محیط شبیه به یک محیط همسانگرد و همگن عمل می‌کند و نمی‌تواند بین امواج قطبیده دایروی راستگرد و چپگرد تمایزی قائل شود. به طوری که ما مشاهده می‌کنیم $T_{RR}=T_{LL}$، $T_{RL}=T_{LR}$، $R_{RR}=R_{LL}$ و $R_{RL}=R_{LR}$ است. در این شرایط تحت بازتاب تبدیل قطبش رخ می‌دهد و یک گاف باند فوتونی مستقل از قطبش در طیف عبور مشاهده می‌شود. در حضور ولتاژ خارجی وضعیت کاملاً تغییر می‌کند. به طوری که ما شاهد دو گاف باند فوتونی وابسته به قطبش در طیف عبور امواج هم‌قطبش راستگرد هستیم که تنها از عبور امواج هم‌قطبش راستگرد ممانعت می‌کنند. همچنین در طیف بازتاب ساختار نیز شاهد دو باند توقف برای امواج هم‌قطبش راستگرد می‌باشیم که موید عدم تبدیل قطبش تحت بازتاب در حضو میدان‌الکتریکی هست. برای بررسی اثر نانوذرات فلزی در

Commented [۲۱]: همتراز شود

Commented [WUV]: تمامی حروف متن فارسی با ممیز شود

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02]

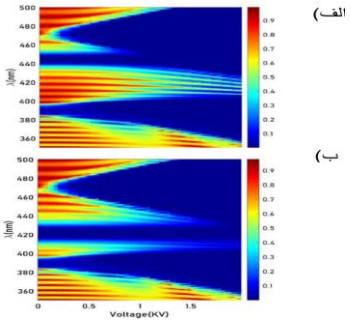


شکل ۲: الف) طیف عبور و ب) بازتاب امواج هم‌قطبش و پادقطبش دایروی به صورت تابعی از طول‌موج در f=۰ و تحت تابش قائم.

شکلهای ۳ الف) و ب) به ترتیب طیف عبور هم‌قطبش راستگرد را به صورت تابعی از ولتاژ و طول‌موج در حضور نانوذرات نقره و نانوذرات طلا تحت تابش قائم رسم کرده‌ایم. نتایج نشان می‌دهد که در حضور نانوذرات یک گاف باند جذبی ناشی از تشدید پلاسمونی نانوذرات ایجاد می‌شود که در نزدیکی طول‌موج تشدید پلاسمونی نانوذرات رخ می‌دهد و وابسته به جنس نانوذرات امکان جابجایی آن وجود دارد. این گاف جذبی مستقل از ولتاژ می‌باشد. همچنین دو گاف باند فوتونی وابسته به قطبش و ولتاژ مشاهده می‌شود که با افزایش ولتاژ به سمت طول‌موج‌های کوتاهتر جابجاشده و با افزایش ولتاژ عریض‌تر می‌شوند.

نتیجه گیری

در این مقاله اثر پالکز در فیلترهای اپتیکی یک ساختار لایه‌ای یک بعدی حاوی NSCM شبه همسانگرد بررسی شد. نتایج نشان داد که اعمال میدان الکتریکی منجر به ایجاد دو فیلتر حساس به قطبش دایروی می‌شود در حالیکه در غیاب میدان الکتریکی تنها یک فیلتر باریک مستقل از قطبش دایروی در طیف عبور ساختار مشاهده می‌شود. همچنین در حضور نانوذرات ساختار یک فیلتر مستقل از قطبش، ولتاژ اعمالی و وابسته به جنس نانوذرات خلق می‌شود.



شکل ۳: طیف عبور امواج هم‌قطبش راستگرد به صورت تابعی از طول‌موج و ولتاژ الف) در حضور نانوذرات نقره، ب) در حضور نانوذرات طلا با f=۰٫۰۰۰۵.

مرجع‌ها

[۱] J. Mendoza, J. Reyes, and C. Avendaño, "Optical band gap in a nanocomposite structurally chiral medium," Phys. Rev. A., Vol. ۹٤, No. ٥, pp. ۰٥۳۸۳۹ ۲۰۱۶.

[۲] J. Reyes, and A. Lakhtakia, "Electrically controlled optical bandgap in a structurally chiral material," Opt. Commun., Vol. ۲٥۹. No. ۱, pp. ۱٦٤-۱۷۳. ۲۰۰۶.

[۳] M. Warner and E. M. Terentjev, "Liquid Crystal Elastomers," Clarendon, ۲۰۰۳.

[٤] A. Lakhtakia, "Pseudo-isotropic and maximum-bandwidth points for axially excited chiral sculptured thin films," Microw. Opt. Technol. Lett., Vol. ۳٤, No. ٥, pp.۳٦۷-۳۷۱. ۲۰۰۲.

[٥] A. Lakhtakia, B. Michel, and W. S Weiglhofer, J. Phys. D., Appl. Phys. Vol. ۳۰, pp. ۲۳۰, ۱۹۹۷.

[٦] D.W. Berreman, "Optics in smoothly varying anisotropic planar structures: application to liquid-crystal twist cells," J. Opt. Soc. Am. Vol. ٦۳, pp.۱۳۷٤–۱۳۸۰. ۱۹۷۳.

Commented [WU۸]: تیتر طبق قالب شود

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-02]