

ORIGINAL ARTICLE

Tunable Multichannel Filter in Ternary Photonic Structure Containing Magnetized Plasma and Anisotropic Metamaterial

Behnam Kazempour¹, Fatemeh Moslemi^{2*}

1 Assistant Professor, Department of Physics, Ahar Branch, Islamic Azad University, Ahar, Iran.

2 Assistant Professor, Department of Physics, Faculty of Science, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran.

Correspondence

Fatemeh Moslemi

Email: fm.moslemi@gmail.com

How to cite

Kazempour, B. Moslemi, F. (2025). Tunable Multichannel Filter in Ternary Photonic Structure Containing Magnetized Plasma and Anisotropic Metamaterial, Optoelectronic, 7(3), 41-48.

ABSTRACT

In this paper, the tunability of a multichannel filter containing magnetized plasma and anisotropic metamaterial in 1D ternary photonic crystal is theoretically investigated and designed in the GHz frequency range. The results show that resonance modes in transmission spectrum of the proposed structure without defining defect layer are created and the structure with a ternary periodicity can act as the multichannel filter. The tunability of the transmission spectrum of the proposed structure by applying an external magnetic field is investigated and shown that channels frequency can be red or blue shifted depending on the orientation of external magnetic field. In addition, the effect of the number of periodicities, the optical axis angle of the anisotropic metamaterial and the incident angle on the filter properties of the channels for both TE and TM polarization is investigated.

KEYWORDS

Ternary Photonic Crystal, Tunable, Magnetized Plasma, Multichannel Filter, Anisotropic Metamaterial.

فصلنامه علمی
اپتوالکترونیک

«مقاله پژوهشی»

فیلتر چند کاناله تنظیم پذیر در ساختار فوتونی سه تایی شامل پلاسمای مغناطیده و متامواد ناهمسانگرد

بهنام کاظم پور^۱، فاطمه مسلمی^{۲*}

چکیده

در این مقاله، تنظیم پذیری فیلتر چند کاناله شامل پلاسمای مغناطیده و متامواد ناهمسانگرد در ساختار بلور فوتونی سه تایی یک بعدی در ناحیه فرکانسی گیگا هرتز به صورت تئوری بررسی و طراحی شده است. نتایج نشان می دهند که مدهای تشدیدی در طیف عبوری ساختار پیشنهادی بدون معرفی لایه نقص ایجاد شده و ساختار با تناوب سه تایی می تواند به عنوان فیلتر چندکاناله در طیف عبوری عمل کند. کنترل پذیری طیف عبوری ساختار ارائه شده با اعمال یک میدان مغناطیسی خارجی بررسی و نشان داده شده که فرکانس کانال ها بسته به راستای اعمال میدان مغناطیسی می تواند انتقال به قرمز یا انتقال به آبی را داشته باشد. علاوه بر آن، تاثیر تعداد تناوب ساختار، زاویه محور نوری متامواد ناهمسانگرد و زاویه تابش فرودی بر ویژگی فیلتری کانال ها در هر دو قطبش TM, TE بررسی شده است.

واژه های کلیدی

بلور فوتونی سه تایی، تنظیم پذیری، پلاسمای مغناطیده، فیلتر چندکاناله، متامواد ناهمسانگرد.

۱ استادیار، گروه فیزیک، واحد اهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اهر، ایران.
۲ استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهیدمدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

نویسنده مسئول:

فاطمه مسلمی

رایانامه: fm.moslemi@gmail.com

استناد به این مقاله:

بهنام کاظم پور، فاطمه مسلمی (۱۴۰۴). فیلتر چندکاناله تنظیم پذیر در ساختار فوتونی سه تایی شامل پلاسمای مغناطیده و متامواد ناهمسانگرد. فصلنامه علمی اپتوالکترونیک، ۴۱(۳)، ۴۸-۴۱.

<https://jphys.journals.pnu.ac.ir>

مقدمه

در سال‌های اخیر محققان با طراحی فیلترهای قابل تنظیم و استفاده از آنها در سیستم‌های تقسیم طول موجی^۱ شبکه‌های مخابرات نوری توانستند علاوه بر افزایش ظرفیت طول موج‌های ارسالی و دریافتی در کانال‌های مخابراتی، سبب کاهش ابعاد قطعات مخابراتی شده و سرعت انتقال اطلاعات را افزایش دهند [۱-۳]. فیلترهای نوری مبتنی بر محیط‌های لایه‌ای یا لایه نازک، جزء اولین دسته از فیلترها هستند که به طور چشمگیری در سیستم‌های تقسیم طول موج در سال ۱۹۹۱ به کار گرفته شدند [۴]، به عنوان مثال می‌توان به فیلترهایی که از توری‌های موجبری^۲ یا توری‌های براگ^۳ به وجود می‌آیند، اشاره کرد [۵]. در حال حاضر نیز این نوع فیلترها طراحی و استفاده می‌شوند.

در این میان بلورهای فوتونی کارایی خود را برای طراحی ادوات تمام نوری از جمله فیلترهای نوری [۶]، کلید نوری [۷] و دیود تمام نوری [۸] به خوبی نشان داده‌اند. فیلترهای نوری طراحی شده بر پایه بلورهای فوتونی به دلیل خواص منحصر به فرد، از جمله داشتن گاف باند فوتونی^۴، باند عبوری^۵ و... قابلیت کنترل انتشار نور را دارند [۹، ۱۰].

با معرفی لایه یا لایه‌های نقص در یک ساختار بلور فوتونی نواحی با عبور بسیار باریک یا همان مدهای نقص در محدوده گاف باند فوتونی ظاهر می‌شوند. این نواحی به عنوان فیلترهای نوری باریک گذر عمل می‌کنند [۱۱، ۱۲].

در اغلب مطالعات، فیلترهای نوری طراحی شده در ناحیه گاف باند فوتونی متمرکز شده‌اند. دسته جدیدی از فیلترهای نوری مبتنی بر باند عبوری بلور فوتونی مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند. این فیلترها در مقایسه با فیلترهای نوری ناشی از حضور لایه نقص، در ساختار بلور فوتونی خود هیچ لایه نقصی ندارند و ساختارهایی با تناوب دو یا سه تایی به شکل $(AB)^N$ یا $(ABC)^N$ دارند [۱۳، ۱۴]. در این ساختارها حداقل یکی از لایه‌ها ابررسانا^۶، پلاسما^۷، مواد تک‌منفی^۸ (در این مواد یکی از ضرایب، گذردهی الکتریکی یا تراوایی مغناطیسی منفی است) یا متامواد^۹ هستند.

تمامی مواد، مواد تصنعی هستند که در یک بازه فرکانسی خاص همزمان هر دو ضریب گذردهی الکتریکی و تراوایی مغناطیسی منفی بوده و به عبارتی ضریب شکست منفی دارند [۱۵]. این مواد در مقایسه با مواد معمولی، کاربردهای نوری منحصر به فردی دارند؛ برای مثال می‌توانند به عنوان قطبش‌گر زاویه بروسر در هر دو قطبش عمل نمایند یا می‌توان از این مواد برای طراحی عدسی‌های کامل در ناحیه ریز موج جهت وضوح بیشتر میدان دور استفاده نمود [۱۶-۱۸].

در اکثر مطالعات، این محیط‌ها همسانگرد فرض شده‌اند؛ ولی این مواد آزمایشگاهی ذاتا ناهمسانگرد بوده؛ لذا بایستی گذردهی الکتریکی و تراوایی مغناطیسی در چنین موادی به شکل تانسوری مطالعه شود [۱۹-۲۱] و از آنجایی که پارامترهای نوری در این مواد به علت ناهمسانگردی محیط وابسته به جهت‌گیری راستای محور نوری بوده؛ لذا معرفی آنها در ساختارهای بلور فوتونی سبب کنترل‌پذیری ساختار با راستای محور نوری خواهد شد.

اخیرا با استفاده از ساختارهای بلور فوتونی فیلترهای نوری چندکاناله با شرایط خاص معرفی و طراحی شده است. عمده کارهای ذکر شده از طریق تغییرات فیزیکی از قبیل تغییر مواد تشکیل دهنده و ضخامت ساختار است [۲۲-۲۴].

در این مقاله، به منظور دستیابی به فیلتر نوری چند کاناله تنظیم‌پذیر خارجی با عبور و کیفیت بالا، ساختار بلور فوتونی معین یک‌بعدی با تناوب سه‌تایی متشکل از دی‌الکتریک معمولی، مواد مغناطیده پلاسمایی و متامواد ناهمسانگرد در بازه فرکانسی گیگا هرتز با بهره‌گیری از روش ماتریس انتقال مطالعه شده است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای هر دو قطبش TE, TM نشان می‌دهند که با تغییر تعداد دوره تناوب، زاویه میدان تابشی، جهت‌گیری محور نوری متامواد، شدت و جهت میدان مغناطیسی اعمالی برای محدوده‌های فرکانسی مشخص شده؛ فیلتر نوری چندکاناله می‌تواند ایجاد شود. علاوه بر این، تاثیر تغییر پارامترهای فوق روی ویژگی فیلتر نوری چندکاناله و تنظیم‌پذیری آن بررسی شده است.

مدل تئوری

در این مقاله ساختاری از بلور فوتونی سه‌تایی یک‌بعدی با آرایش $(DPM)^N$ همانند شکل ۱ در نظر گرفته شده است.

لایه D محیط دی‌الکتریک معمولی با گذردهی الکتریکی $\epsilon_D = 3$ و ضخامت $d_D = 5mm$ انتخاب شده است، لایه P پلاسمای مغناطیده است با ضریب دی‌الکتریک وابسته به فرکانس و میدان مغناطیسی خارجی که از رابطه زیر به دست می‌آید [۲۵، ۱۶]:

$$\epsilon_P = 1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2(1 - i\gamma + \frac{\omega_C}{\omega})} \quad (1)$$

در رابطه فوق، ω_C و γ ، به ترتیب فرکانس پلاسمایی

1 Wave Division Multiplexing

2 Waveguide Grating

3 Bragg Grating

4 Photonic Band Gap

5 Pass Band

6 Superconductor

7 Plasma

8 Single Negative Materials

9 Matamaterials

در معادلات بالا، μ, ε به‌ترتیب گذردهی الکتریکی و تراوایی مغناطیسی نسبی محیطها است، در لایه دی‌الکتریک D و پلازما P ، گذردهی الکتریکی برابر با مقادیر $\varepsilon_P, \varepsilon_D$ و تراوایی مغناطیسی‌شان یکسان و مقدار ثابت μ_0 است. در لایه ناهمسانگرد متامواد نیز این مقادیر با تانسورهای ε_M و μ_M تعریف می‌شوند.

برای حل معادلات ماکسول ابتدا قطبش موج تابشی را TE فرض می‌کنیم.

در این قطبش میدان الکتریکی به‌شکل [۲۸، ۲۹]:

$$E = E_y(z)e^{i(k_x x - \omega t)}\hat{e}_y \quad (۱۲)$$

بوده و معادله موج در لایه متامواد B از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{d^2 E_y}{dz^2} + 2i \frac{G}{V} k_x \frac{dE_y}{dz} + \left(\frac{\omega^2 \varepsilon_{\perp} \mu_{\perp} \mu_{\parallel}}{c^2 V} - \frac{U}{V} k_x^2 \right) E_y = 0 \quad (۱۳)$$

در قطبش TM نیز با در نظر گرفتن شکل میدان مغناطیسی

$$H = H_y(z)e^{i(k_x x - \omega t)}\hat{e}_y \quad (۱۴)$$

معادله موج در این قطبش برای لایه متامواد M به‌شکل زیر خواهد بود:

$$\frac{d^2 H_y}{dz^2} + 2i \frac{F}{W} k_x \frac{dH_y}{dz} + \left(\frac{\omega^2 \mu_{\perp} \varepsilon_{\perp} \varepsilon_{\parallel}}{c^2 W} - \frac{P}{W} k_x^2 \right) H_y = 0 \quad (۱۵)$$

در هر دو رابطه $k_x = \left(\frac{\omega}{c} \right) \sin \theta$ مؤلفه بردار موج در امتداد مماس بر لایه‌ها است.

با حل معادلات موج و در نظر گرفتن شرایط مرزی برای مولفه‌های مماسی میدان‌ها، ماتریس انتقال برای لایه M (M_M) به صورت زیر به‌دست می‌آیند [۲۸، ۲۹]:

$$M_M(d_M) = \quad (۱۶)$$

$$e^{i\alpha_1 d_M} \begin{pmatrix} \cos(\alpha_2 d_M) & \frac{-i}{q_M} \sin(\alpha_2 d_M) \\ -iq_M \sin(\alpha_2 d_M) & \cos(\alpha_2 d_M) \end{pmatrix}$$

در ماتریس فوق، d_M ضخامت لایه متامواد با مقدار $1mm$ است و مقادیر α_1, α_2, q_M در هر قطبش TE, TM به‌شکل زیر تعریف شده‌اند:

$$\alpha_{1TE} = \frac{G}{V} k_x, \quad \alpha_{1TM} = \frac{F}{W} k_x \quad (۱۷)$$

$$\alpha_{2TE} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\mu_{\perp} \mu_{\parallel} (V \varepsilon_{\perp} - \sin^2 \theta)}{V^2}} \quad (۱-۱۸)$$

$$\alpha_{2TM} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\varepsilon_{\perp} \varepsilon_{\parallel} (W \mu_{\perp} - \sin^2 \theta)}{W^2}} \quad (۲-۱۸)$$

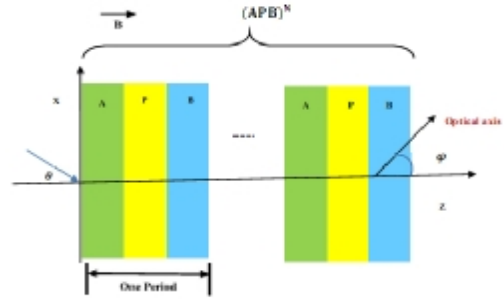
$$q_{MTE} = \frac{V \alpha_{2TE}}{(\mu_{\perp} \mu_{\parallel} \frac{\omega}{c})}, \quad q_{MTM} = \frac{W \alpha_{2TM}}{(\varepsilon_{\perp} \varepsilon_{\parallel} \frac{\omega}{c})} \quad (۱۹)$$

با همین روند محاسباتی ماتریس انتقال برای لایه دی‌الکتریک D و پلازما P ، به‌شکل زیر به‌دست می‌آید:

$$M_i(d_i) = \quad (۲۰)$$

$$\begin{pmatrix} \cos(k_i d_i) & \frac{-i}{q_i} \sin(k_i d_i) \\ -iq_i \sin(k_i d_i) & \cos(k_i d_i) \end{pmatrix} i = D, P$$

(50 GHz)، فرکانس موثر برخورد (0.01GHz) و فرکانس سیکلوترونی با مقدار $\frac{eB}{m}$ هستند. m جرم الکترون، e بار الکتریکی الکترون و B شدت میدان مغناطیسی خارجی، با وابستگی به جهت در راستای $+Z, -Z$ که معادل با قطبش راست-گرد^۱ (RHP) و قطبش چپ-گرد^۲ (LHP) هستند. لایه M نیز متامواد ناهمسانگرد بوده که جهت‌گیری امتداد محور نوری‌اش با محور Z تحت زاویه φ همانند شکل ۱ در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. شمایی از ساختار بلور فوتونی سه‌تایی. راستای محور نوری در لایه ناهمسانگرد با زاویه φ مشخص شده‌است.

تحت این شرایط تانسورهای ε_M, μ_M برای لایه M به‌شکل زیر تعریف شده‌اند [۲۷، ۲۴]:

$$\varepsilon_M = \begin{pmatrix} P & 0 & F \\ 0 & \varepsilon_{\perp} & 0 \\ F & 0 & W \end{pmatrix} \quad (۲)$$

$$\mu_M = \begin{pmatrix} U & 0 & G \\ 0 & \mu_{\perp} & 0 \\ G & 0 & V \end{pmatrix} \quad (۳)$$

و درایه‌هایی که برابر مقادیر زیر هستند

$$P = \varepsilon_{\perp} \cos^2 \varphi + \varepsilon_{\parallel} \sin^2 \varphi \quad (۴)$$

$$F = -(\varepsilon_{\perp} - \varepsilon_{\parallel}) \cos \varphi \sin \varphi \quad (۵)$$

$$W = \varepsilon_{\perp} \sin^2 \varphi + \varepsilon_{\parallel} \cos^2 \varphi \quad (۶)$$

$$U = \mu_{\perp} \cos^2 \varphi + \mu_{\parallel} \sin^2 \varphi \quad (۷)$$

$$G = -(\mu_{\perp} - \mu_{\parallel}) \cos \varphi \sin \varphi \quad (۸)$$

$$V = \mu_{\perp} \sin^2 \varphi + \mu_{\parallel} \cos^2 \varphi \quad (۹)$$

در روابط بالا، $\varepsilon_{\perp} = 1 - \frac{100}{\omega^2}$ ، $\varepsilon_{\parallel} = 1 - \frac{200}{\omega^2}$ و $\mu_{\perp} = 1$ و $\mu_{\parallel} = 1$ هستند.

با فرض اینکه موج الکترومغناطیسی تحت زاویه تابشی θ بر ساختار بلور فوتونی بتابد، روابط حاکم بر بردارهای میدان الکتریکی و مغناطیسی موج تابشی با فرکانس ω تحت معادلات ماکسول به‌شکل زیر بیان می‌شوند:

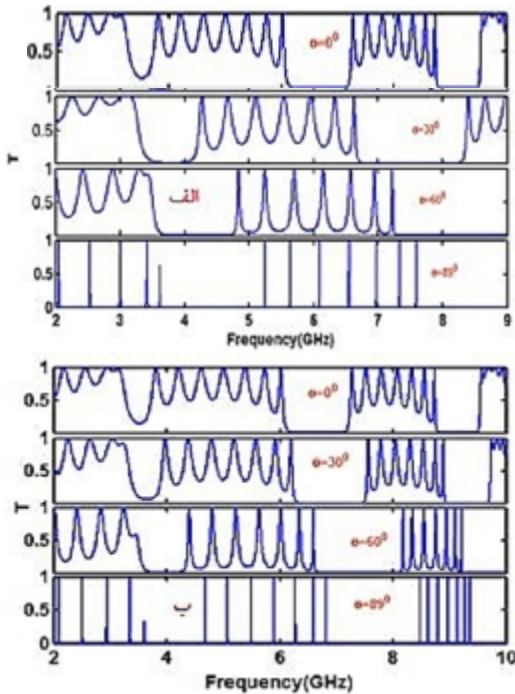
$$\vec{\nabla} \times \vec{E}(\vec{r}, t) = i\omega \mu_0 \mu \vec{H}(\vec{r}, t) \quad (۱۰)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H}(\vec{r}, t) = -i\omega \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}(\vec{r}, t) \quad (۱۱)$$

محور نوری، قطبش و زاویه میدان تابشی همچنین شدت و جهت میدان مغناطیسی بررسی و بهینه خواهند شد. علت تنظیم‌پذیری وابستگی پارامترهای نوری لایه متامواد ناهمسانگرد به جهت‌گیری محور نوری و راستای میدان تابشی و نیز وابستگی خواص نوری لایه پلاسما به جهت و شدت میدان مغناطیسی است.

اثر قطبش و زاویه موج تابشی بر طیف عبوری فیلتر چندکاناله

در شکل ۳ رفتار طیف عبوری ساختار $(DPM)^8$ به ازای زوایای تابشی متفاوت $\theta = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 89^\circ$ برای هر دو قطبش TM (الف) و TE (ب) تحت میدان مغناطیسی خارجی ۰/۴ تسلا با حالت RHP و زاویه محور نوری صفر درجه رسم شده است. در شرایط $\varphi = 0$ هر دو تانسور گذردهی الکتریکی و تراوایی مغناطیسی قطری هستند.



شکل ۳. طیف عبوری فیلتر چندکاناله به ازای زوایای تابشی متفاوت برای هر دو قطبش TM (الف) و TE (ب) تحت میدان ۰/۴ تسلا در حالت RHP و زاویه نوری صفر درجه.

در هر دو قطبش با افزایش زاویه تابشی ۱. موقعیت گاف باندها به سمت فرکانس‌های بالاتر جابه‌جا شده به عبارتی انتقال به آبی اتفاق می‌افتد؛ ۲. پهنای گاف باندها افزایش می‌کند که این افزایش در قطبش TM بیشتر از قطبش TE است؛ ۳. در زوایای تابشی بزرگ‌تر از 60° و در محدوده فرکانس میانی شدت عبوری کانال‌های فیلتری به عبور کامل نزدیک شده لذا این ساختار در این محدوده فرکانسی می‌تواند به‌عنوان فیلتر چند کاناله برای هر دو قطبش عمل نماید؛ ۴. تعداد کانال‌های ایجاد

مقادیر k_i, q_i در ماتریس بالا به صورت زیر تعریف شده‌اند:

$$k_i = \omega/c \sqrt{\epsilon_i} \sqrt{\mu_i} \sqrt{1 - (\sin^2 \theta / \epsilon_i \mu_i)} \quad (21)$$

$$q_{iTE} = \sqrt{\epsilon_i} / \sqrt{\mu_i} \sqrt{1 - (\sin^2 \theta / \epsilon_i \mu_i)} \quad (22-1)$$

$$q_{iTM} = \sqrt{\mu_i} / \sqrt{\epsilon_i} \sqrt{1 - (\sin^2 \theta / \epsilon_i \mu_i)} \quad (22-2)$$

از حاصل ضرب ماتریس تک‌تک لایه‌ها، ماتریس انتقال کل ساختار M_N ، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$M_N(\omega) = [M_D(d_D)M_P(d_P)M_M(d_M)]^N \quad (23)$$

و نهایتاً ضریب عبور از رابطه زیر به دست خواهد آمد:

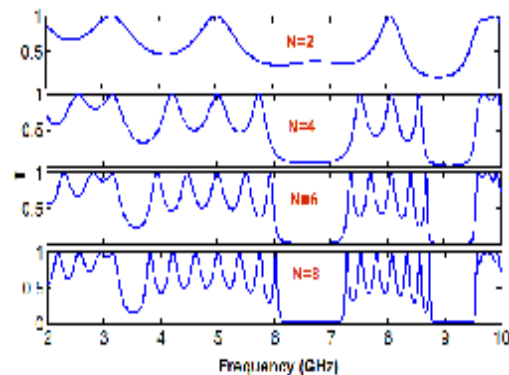
$$t(\omega) = \frac{2q_0}{q_0 M_{22}(\omega) + q_s M_{22}(\omega) + q_0 q_s M_{12}(\omega) + M_{21}(\omega)} \quad (24)$$

اگر دو طرف بلور فوتونی خلا باشد $q_0 = q_s = \cos \theta$ شدت عبور ساختار نیز به شکل زیر قابل محاسبه است:

$$T(\omega) = |t(\omega)|^2 \quad (25)$$

بحث و نتایج

شکل ۲ رفتار طیف عبوری ساختار پیشنهادی $(DPM)^N$ بر حسب فرکانس را به ازای تعداد تناوب‌های متفاوت $N = 2, 4, 6, 8$ نشان می‌دهد. تابش موج فرودی، عمودی و شدت میدان مغناطیسی خارجی ۰/۴ تسلا در حالت RHP در نظر گرفته شده است. با افزایش تناوب بلور فوتونی، لایه‌های گاف باندها تیزتر و گاف باندهای فوتونی کامل‌تری حاصل می‌شود؛ لذا بهینه تناوب برای ادامه کار انتخاب تناوب هشتم ($N = 8$) برای ساختار پیشنهادی خواهد بود.



شکل ۲. رفتار طیف عبوری ساختار با آرایش $(DPM)^N$ به ازای تناوب‌های $N = 2, 4, 6, 8$ تحت میدان ۰/۴ تسلا در حالت RHP و تابشی عمودی موج تابشی.

هدف ما در این کار دستیابی به فیلتر نوری چندکاناله است به‌گونه‌ای که کانال‌های عبوری شدت عبور و فاکتور کیفیت^۱ ($Q = \omega / \Delta\omega$) بالایی داشته باشند.

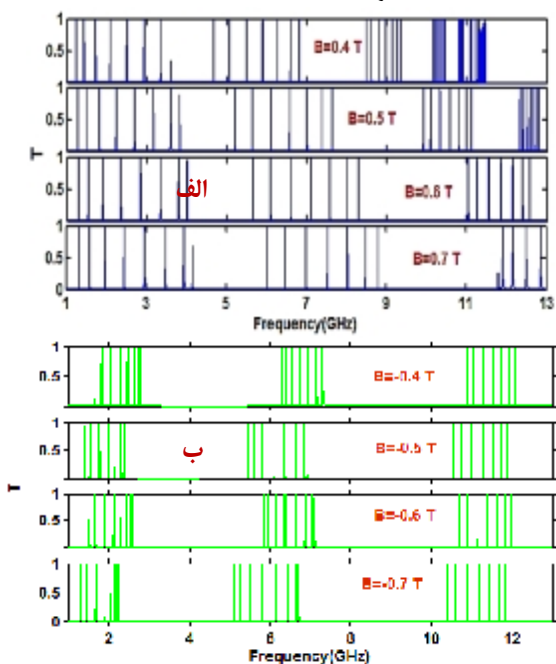
در این راستا کنترل و تنظیم‌پذیری طیف عبوری با راستای

اثر شدت و جهت میدان مغناطیسی خارجی بر طیف عبوری فیلتر چند کاناله

رفتار طیف عبوری ساختار DPM^8 به ازای شدت میدان‌های متفاوت $0.4, 0.5, 0.6, 0.7$ و 0.8 تسلا در هر دو حالت RHP (الف) و LHP (ب) تحت زاویه تابش 89° برای هر دو قطبش در شکل‌های ۵ (قطبش TM)، ۶ (قطبش TE) رسم شده‌اند. زاویه نوری صفر درجه در نظر گرفته شده است.

در حالت RHP شکل‌های ۵ (الف) و ۶ (الف)، با افزایش شدت میدان مغناطیسی، فاصله کانال‌های نوری نسبت به هم افزایش می‌یابند؛ ۲. کانال‌ها به سمت فرکانس‌های بالاتر جابه‌جا می‌شوند؛ به عبارتی انتقال به آبی اتفاق می‌افتد.

در حالت LHP شکل‌های ۵ (ب) و ۶ (ب)، با افزایش میدان مغناطیسی در خلاف جهت قبلی، ۱. موقعیت فرکانسی کانال‌های نوری به طرف پایین جابه‌جا شده و انتقال به قرمز صورت می‌گیرد؛ ۲. فاصله کانال‌های فیلتری نسبت به حالت RHP کمتر و فاکتور کیفیت کانال‌ها افزایش می‌یابد. لذا اعمال میدان مغناطیسی در جهت LHP سبب افزایش عملکرد فیلتر چندکاناله نسبت به حالت RHP خواهد شد.

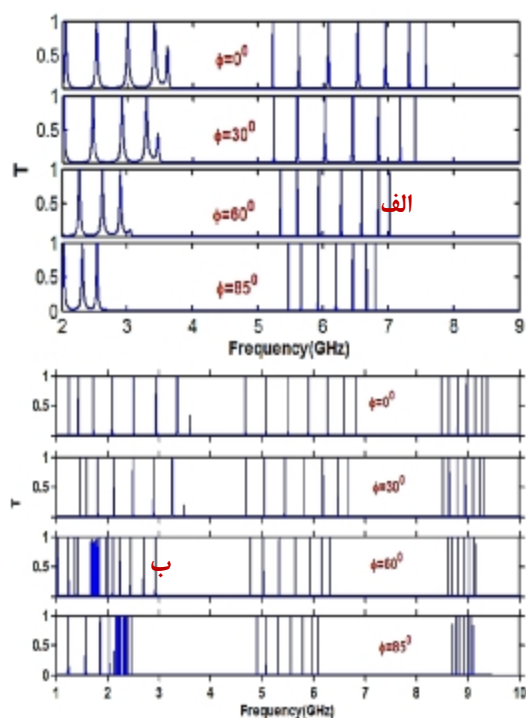


شکل ۵. طیف عبوری فیلتر چندکاناله به ازای شدت میدان‌های متفاوت در حالت RHP (الف) و LHP (ب) تحت زاویه تابشی 89° برای قطبش TM با زاویه نوری صفر درجه.

شده بین دو گاف متوالی یکسان و برابر $N - 1 = 7$ بوده ولی در قطبش TE به دلیل کم بودن پهنای گاف باندها و نزدیک بودن کانال‌ها به هم در محدوده فرکانسی بررسی‌شده، تعداد کانال‌های بیشتری خواهیم داشت؛ به عبارتی فاکتور کیفیت بالاتر بوده و قطبش TE عملکرد بهتری از قطبش TM خواهد داشت.

اثر زاویه محور نوری بر طیف عبوری فیلتر چند کاناله

شکل ۴ تاثیر زاویه محور نوری لایه ناهمسانگرد بر کانال‌های فیلتری ساختار DPM^8 ، در حضور میدان مغناطیسی 0.4 تسلا حالت RHP و زاویه تابشی 89° برای هر دو قطبش TM (الف) و TE (ب) را نشان می‌دهد. در حالت $\varphi \neq 0$ تانسورهای گذردهی الکتریکی و نفوذپذیری مغناطیسی لایه ناهمسانگرد هر دو غیر قطری هستند.

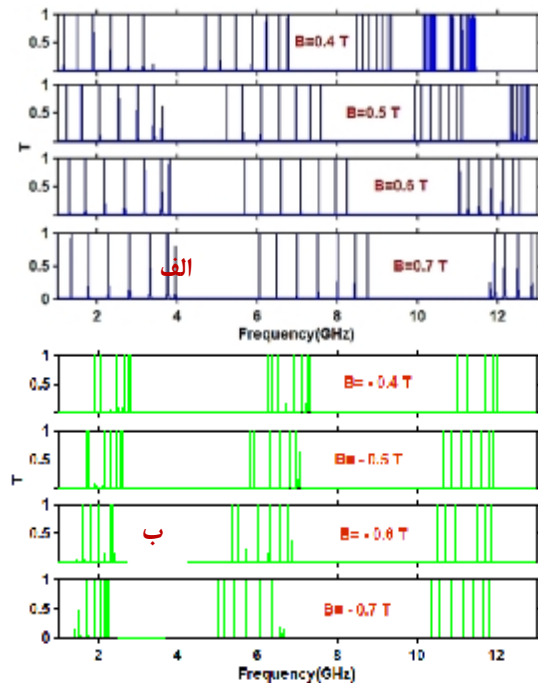


شکل ۴. طیف عبوری فیلتر چندکاناله به ازای زوایای محور نوری متفاوت برای هر دو قطبش TM (الف) و TE (ب) تحت میدان تحت میدان 0.4 تسلا در حالت RHP و زاویه تابشی 89° .

با افزایش زاویه محور نوری در هر دو قطبش ۱. در محدوده فرکانس میانی، کانال‌ها به هم نزدیک و فاصله کانال‌ها کمتر می‌شوند؛ به عبارتی فاکتور کیفیت کانال‌ها افزایش می‌یابند؛ ۲. در بازه فرکانس‌های پایین نیز پهنای کانال‌ها کمتر و به سمت فرکانس‌های پایین‌تر جابه‌جا می‌شوند؛ ۳. به ازای زاویه نوری مشخص از هر دو قطبش، فاصله کانال‌های فیلتری در قطبش TE نسبت به حالت TM کمتر، به تبع آن فاکتور کیفیت افزایش می‌یابد. لذا ساختار با قطبش TE به عنوان فیلتر چندکاناله بهتر از قطبش TM عمل خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله امکان طراحی فیلترهای نوری چندکاناله تنظیم‌پذیر در ساختار بلور فوتونی سه‌تایی شامل پلاسمای مغناطیده و متامواد ناهمسانگرد بررسی شد. با به‌کارگیری روش ماتریس انتقال نتایج نشان دادند که بدون اضافه کردن لایه نقص در ساختار، با تغییر زاویه تابشی، زاویه محور نوری لایه ناهمسانگرد و اعمال میدان مغناطیسی خارجی، ساختار ارائه شده می‌تواند به عنوان فیلتر نوری چندکاناله تنظیم‌پذیر در محدوده فرکانس‌های مشخص با فاصله نزدیک به هم و با فاکتور کیفیت بالا عمل کند. نشان داده شد که موقعیت فرکانسی کانال‌ها وابسته به جهت اعمال میدان مغناطیسی خارجی است؛ به‌گونه‌ای که جهت میدان اعمالی RHP یا LHP باشد، موقعیت فرکانسی کانال‌ها در هر دو قطبش TM و TE انتقال به آبی یا قرمز را تجربه کردند. این ساختار می‌تواند، پیشنهاد مفیدی برای طراحی ساخت فیلترهای نوری چندکاناله تنظیم‌پذیر با قابلیت کنترل‌پذیری خارجی مناسب در طراحی دستگاه‌های اپتیکی مدرن باشد.



شکل ۶. طیف عبوری فیلتر چندکاناله به ازای شدت میدان‌های متفاوت در حالت RHP (الف) و LHP (ب) تحت زاویه تابشی 89° برای قطبش TE با زاویه نوری صفر درجه.

References

- [1] D. A. M. khalil, "Advances in optical filters," Proceeding of conference IEEE, (2000) 1-27.
- [2] S. Winder, "Analog and digital filter design," 2nd Edition (2002).
- [3] F. Poli, A. Cucinota and S. Selleri, "Photonic crystal fibers: Properties and Applications," Springer series in materials science, (2007).
- [4] M. J. Demler, "High-speed analog-to-digital conversion," Academic press, Inc, sandiago, California, (1991).
- [5] C. K. Madsen and J. H. Zhao, "Optical Filter Design and Analysis: A Signal Processing Approach," John Wiley & Sons, Chapter 4, 5 (1999).
- [6] S. Fan, P. R. Villeneuve, J. D. Joannopoulos, and H. A. Haus, "Channel Drop Tunneling through Localized States," *Phys. Rev. Lett.* 80 (1998) 960-963.
- [7] W. J. Firth, "Optical memory and spatial chaos," *Phys. Rev. Lett.* 61 (1988) 329-339.
- [8] M. D. Tocci, M. J. Bloemer, M. Scalora, J. P. Dowling, and C.M. Bowden, "Thin film nonlinear optical diode," *Appl. Phys. Lett.* 66 (1996) 2324-2326.
- [9] A. Aghajamali, "Transmittance properties in a magnetized cold plasma superconductor periodic multilayer," *App. Opt.* 55 (2016) 6336- 6340.
- [10] T.-C. King, C.-C. Wang, W. -K. Kuo, and C.-J. Wu, "Analysis of effective plasma frequency in a magnetized extrinsic photonic crystal," *IEEE Photon. J.* 5 2700706 (2013) 1-6.

منابع

- [11] S. Fan, P. R. Villeneuve, J. D. Joannopoulos, and H. A. Haus, "Channel Drop Tunneling through Localized States," *Phys. Rev. Lett.* 80 (1998) 960-963.
- [12] S. Noda, A. Chutinan, and M. Imada, "Trapping and emission of photons by a single defect in a photonic band gap structure," *Nat.* 407 (2000) 608-610.
- [13] H. Xiaoyong, L. Zheng and G. Qihuang, "Tunable Multichannel filter in photonic crystal heterostructure containing permeability-negative materials," *Phys Lett A* 372 (2008) 333-339.
- [14] L. Peining and L. Youwen, "Multichannel filtering properties of photonic crystals consisting of single-negative materials," *Phys Letters A.* 373 (2009) 1870-1873.
- [15] D.R. Smith, W. J. Padilla, D. C. Vier, S. C. Nemat-Nasser, and S. Schultz "Composite medium with simultaneously negative permeability and permittivity, " *Phys. Rev. Lett.* 84 (2000) 4184-4187.
- [16] Z. Jacob, L. V. Alekseyev, and E. Narimanov, "Optical hyperlens: Far-field imaging beyond diffraction limit," *Optics Express* 14 (2006) 8247-8256.
- [17] Z. J. Wong, Y. Wang, K. O'Brien, J. Rho, X. Yin, S. Zhang, N. Fang, T.-J. Yen and X. Zhang, "Optical and acoustic metamaterials: superlens, negative refractive index and invisibility cloak," *Journal of Optics* 19 084007 (2017) 1-13.

- [18] G. Zhu, "Designing a square invisibility cloak using metamaterials made of stacked positive-negative index slabs," *Journal of Applied Physics* 113 163103 (2013) 1-6
- [19] Z. P. Wang, C. Wang, Z. H. Zhang, "Goos-Hänchen shift of the uniaxially anisotropic left-handed material film with an arbitrary angle between the optical axis and the interface," *Optics Communications* 281 (2008) 3019- 3024.
- [20] B. Kazempour, K. Jamshidi-Ghaleh, M. Shabzنده, "Transmittance properties of tunable filter in a 1D photonic crystal doped by an anisotropic metamaterial," *Superlattices and Microstructures* 109 (2017) 708-715.
- [21] A.T. Sofyan, "Dispersion properties of lossy, dispersive, and anisotropic left-handed material slab waveguide," *Optik* 126 (2015) 1319-1323.
- [22] K.-Y. Xu, Zheng, C.-L Li, and W.-L She "Design of omnidirectional and multiple channelled filters using one-dimensional photonic crystals containing a defect layer with a negative refractive index," *Physical Review E* 71 066604 (2005) 1-11.
- [23] C.-J. Wu, M.-H. Lee, J.-Z. Jian "Design and analysis of multichannel transmission filter based on the single-negative photonic crystal," *Progress in Electromagnetics Research* 136 (2013) 561- 578.
- [24] D. Schurig and D.R. Smith, "Spatial filtering using media with indefinite permittivity and permeability tensors," *Appl. Phys. Lett.* 82 (2003) 2215-2217.
- [25] T. -W. Chang, J. -R. Chang, C.-J. Wu, "Magnetic- field tunable multichannel filter in a plasma photonic crystal at microwave frequencies," *Appl. Opt.* 55 (2016) 943-946.
- [26] C. Nayak, A. Aghajamali, T. Alamfard, and A. Saha, "Tunable photonic band gaps in an extrinsic octonacci magnetized cold plasma," *Phys. B* 525 (2017) 41-45.
- [27] D.R. Smith, D. Schuring, "Electromagnetic wave propagation in media with indefinite permittivity and permeability tensors," *Phys. Rev. Lett.* 90 077405 (2003) 1-4.
- [28] T. Pan, G. Xu, T. Zang, and L. Gao, "Goos-Hanchen shift in one- dimensional photonic crystals containing uniaxial indefinite medium," *Phys. Status Solidi B* 246 (2009)1088– 1093.
- [29] A. Madani, S. Roshan Entezar, A. Namdar, and H. Tajalli "Influence of the orientation of optical axis on the transmission properties of one-dimensional photonic crystals containing uniaxial indefinite metamaterial," *J. Opt. Soc. Am. B* 29 (2012) 2910-2914.