

طراحی فیلتر فروسرخ باند α برای مقابله با طول

موج $2/8$ میکرومتر لیزر هیدروژن فلوراید

علی محمد خزایی^۱، جواد خلیلزاده^۱

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۰/۲۱

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۲۶

چکیده

در این تحقیق محاسباتی، فیلتر بلور فوتونیک برای حفاظت از حسگرهای پدافند غیر عامل در ناحیه طیفی باند α طراحی شده و چگونگی عملکرد آن در مقابل پرتو $2/8$ میکرومتر لیزر هیدروژن فلوراید بررسی شده است. بلور فوتونیک از جنس میله‌های سیلیکونی بیضی‌گون در زمینه هوا با شبکه مثلثی طراحی شد. وضعیت هندسی بهینه برای طول موج $2/5$ میکرومتر پیدا شده و عملکرد فیلتری آن برای طول موج لیزر مورد نظر ارزیابی گردید. چنین فیلتری با قطرهای بزرگ و کوچک اشاره شده در متن، برای مد TE عملکرد مطلوبی نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: بلور فوتونیک، پدافند غیر عامل، مقابله الکترواپتیک، باند α

۱- مقدمه

مخصوصاً از حیث جایگزینی فوتون به جای الکترون که نسبت سرعت بالغ بر یک میلیون برابر دارند، اهمیت فوق العاده‌ای پیدا می‌کنند و امکان دستیابی به تجهیزات با سرعت بالا را فراهم می‌آورند. در این کار امکان‌پذیری فیلتر کردن پرتو لیزر HF با استفاده از شبیه‌سازی یک فیلتر بلور فوتونیک بررسی شده است.

۲- روش محاسبات

محاسبات این مقاله با استفاده از نرم‌افزار Optiwave با روش FDTD که براساس معادلات وابسته به زمان ماکسول در محیط دی‌الکتریک همگن ($J = 0$ و $\mu_r = 1$ ، $\mu = \mu_0 \mu_r$ ، $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$) در سیستم MKS عبارتند از:

$$\frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times \vec{E} \quad (1)$$

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \frac{1}{\epsilon_r \epsilon_0} \nabla \times \vec{H} \quad (2)$$

در این معادلات E و H به ترتیب میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی هستند. ثابت‌های μ_0 و ϵ_0 به ترتیب گذردهی و تراوایی فضای آزاد بوده و ϵ_r گذردهی نسبی است. بلور فوتونی مورد نظر، دو بعدی با میله‌های سیلیکونی در زمینه هوا است که راستای آنها در جهت محور Z فرض می‌شود. در مطالعه بلور فوتونی دو بعدی میدان‌های الکترومغناطیسی می‌توانند به دو مد قطبشی E یا TM (میدان الکتریکی موازی محور میله‌ها) و H یا TE (میدان مغناطیسی موازی محور میله‌ها) تجزیه شوند. با استفاده از روش Yee می‌توان معادلات فوق را در فضا و زمان گسسته نموده و نهایتاً فرمول‌های قدم - زمانی FDTD مثلاً برای قطبش E را به صورت زیر به دست آورد.

روش‌های مقابله الکترواپتیکی از حوزه‌های مهم امروزی در پدافند غیرعامل می‌باشد. از آنجا که بیشتر تسلیحات امروزی با تجهیز به فرستنده‌ها و گیرنده‌های امواج فرسوخ و لیزر بوده و به دلیل تعبیه حسگرهای فرسوخ در آنها به عنوان سلاح‌های (هدایت شونده) هوشمند قلمداد می‌شوند، مواجهه با آنها مستلزم فن‌آوری‌های خاص می‌باشد. عمده سامانه‌های الکترواپتیکی مانند هشداردهنده‌ها، در بازه‌های خاص ناحیه فرسوخ امواج الکترو مغناطیس مانند باند α (۲/۹-۱/۹ mμ)، باند β (۳-۵ mμ) کار می‌کنند و برای فوتون‌های این نواحی طیفی که از اشیائی مانند آگروز تابش می‌شوند، دارای حساسیت فوق العاده بالایی هستند [۱]. با وجود چنین حساسیتی یک پرتو پر شدت مانند پرتو لیزر می‌تواند موجب تخریب سامانه بشود. با توجه به این که لیزرها با وجود شدت بالا، دارای طیف محدود شناخته شده‌ای هستند (مثلاً لیزر پرتوان هیدروژن فلوراید دارای طول موج ۲/۸ mμ است)، با طراحی فیلترهای نوار گذر می‌توان از آسیب آشکارسازها و حسگرهای سامانه‌های هوشمند جلوگیری نمود. بلورهای فوتونیک^۱ (PC) به علت ویژگی‌های منحصر به فرد و پتانسیل‌های فراوان کاربردی در فوتونیک (مرئی و فرسوخ) و دستگاه‌های مخابرات نوری توجه زیادی را به خود جلب کرده است. این ساختارها، محیط‌های دی‌الکتریک متناوب نسبت به ضریب شکست در یک، دو یا سه بعد هستند که دارای گاف فوتونی، مشابه گاف انرژی الکترونی در نیم‌رساناها می‌باشند، که انتشار امواج الکترومغناطیسی در این بازه فرکانسی در بلور نوری ممنوع است. تعبیه نقص‌های طراحی شده در شبکه بلوری قابلیت‌های مضاعفی را به آنها می‌بخشد. چنین ساختارهایی عمده‌تاً بر اساس تنوع در طراحی هندسی می‌توانند برای کاربردهای گوناگون طراحی و ساخته شوند. این ویژگی، امکان کنترل فوتون‌ها را در این ساختارها فراهم می‌آورد و موجب کاربردهای گوناگونی در ادوات اپتیکی و اپتوالکترونیک می‌گردد که می‌توان به فیلترهای نوری [۲]، موجبرهای نوری [۳]، لیزرهای بلور نوری [۴] و زیر لایه آنتن‌ها [۵]، اشاره کرد. این بلورها

$$H_x \left| \begin{matrix} n+1/2 \\ (i, j+1/2) \end{matrix} \right. = H_x \left| \begin{matrix} n \\ (i, j+1/2) \end{matrix} \right. - \frac{1}{\mu_0} \frac{\Delta t}{\Delta y} \left[E_z \left| \begin{matrix} n+1/2 \\ (i, j+1/2) \end{matrix} \right. - E_z \left| \begin{matrix} n+1/2 \\ (i, j) \end{matrix} \right. \right] \quad (3)$$

$$Hy \Big|_{(i+1/2, j)}^{n+1/2} = Hy \Big|_{(i+1/2, j)}^n - \frac{1}{\mu_0} \frac{\Delta t}{\Delta x} \left[Ez \Big|_{(i+1/2, j)}^{n+1/2} - Ez \Big|_{(i, j)}^{n+1/2} \right] \quad (4)$$

$$Ez \Big|_{(i, j)}^{n+1/2} = Ez \Big|_{(i, j)}^{n-1/2} + \frac{\Delta t}{\epsilon_0 \epsilon_r} \left[\frac{Hy \Big|_{(i+1/2, j)}^n - Hy \Big|_{(i-1/2, j)}^n}{\Delta x} - \frac{Hx \Big|_{(i, j+1/2)}^n - Hx \Big|_{(i, j-1/2)}^n}{\Delta y} \right] \quad (5)$$

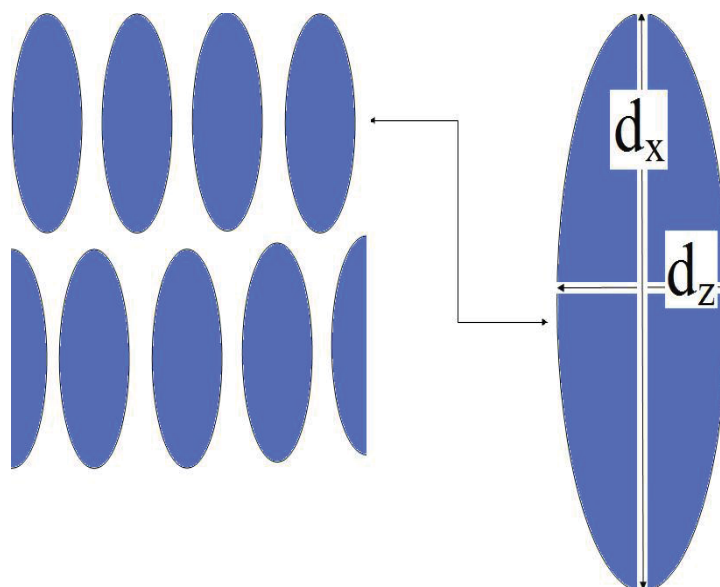
محاسباتی 22×18 ثابت شبکه، در زمینه هوا مورد بررسی قرار گرفتند که طرحواره آن در شکل (۱) نشان داده شده است. قطر بزرگ (d_x) برابر با $0.8a$ و قطر کوچک (d_z) برابر با $0.4a$ که a ثابت شبکه است. برای هر دو مد TE و TM طول موج منابع نور در بازه $2/9, 2/8, 2/7, 2/6, 2/5, 2/4, 2/3, 2/2$ ، $2/1$ و $1/9 \mu m$ انتخاب شده بود.

ابتدا مؤلفه میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی توسط نرم‌افزار محاسبه شده و نمودارهای زیر نتایج پردازش نهایی می‌باشد. در شکل (۲) ضریب عبور بلور فوتونی دو بعدی به ازای طول موج‌های مختلف برای مد TE بر حسب طول موج نشان داده شده است.

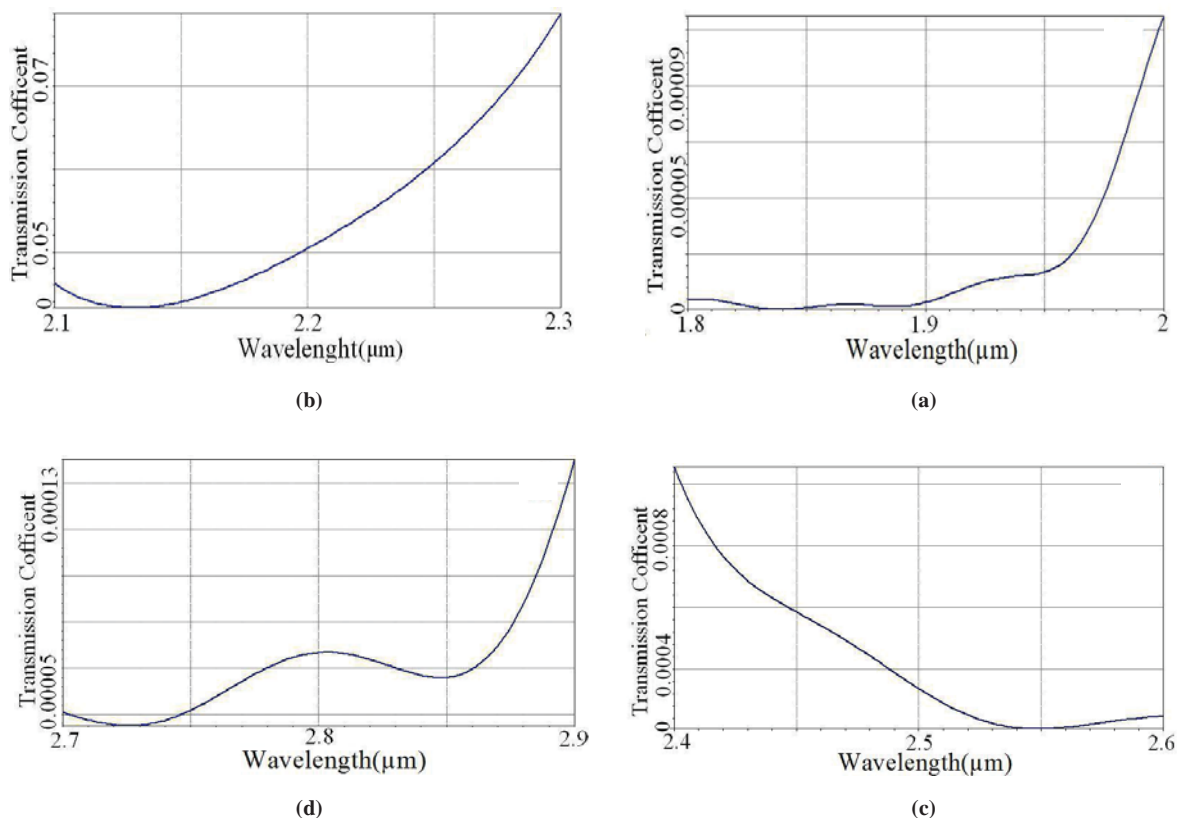
در معادلات فوق، n نشان‌دهنده زمان $(n \equiv n\Delta t)$ و اندیس‌های i و j نشان‌دهنده مکان $(i \equiv i\Delta t, j \equiv j\Delta t)$ در شبکه Yee هستند. در روش FDTD یکی از مسائل مهم الگوریتم Yee می‌باشد. اندازه گام‌های مکانی و زمانی پارامترهایی هستند که پایداری الگوریتم را تعیین می‌کنند. با انتخاب $\Delta t = \frac{0.5}{c_0(\Delta x^{-2} + \Delta y^{-2})^{1/2}}$ (c_0 سرعت نور در فضای آزاد است)، این پایداری تضمین می‌شود [۶].

۳- بحث و نتایج

در این مقاله بلور فوتونی دو بعدی شبکه مثلثی با میله‌های سیلیکونی با ضریب شکست‌های مختلف [۷] در فضای

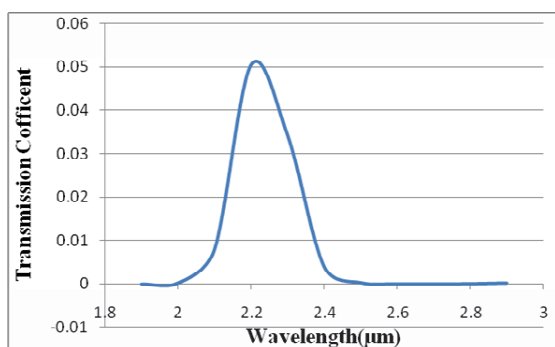


شکل ۱- طرحواره بلور فوتونی با شبکه مثلثی دو بعدی و با قطر بزرگ d_x و قطر کوچک d_z



شکل ۲- ضریب عبور بلور فوتونی دو بعدی در مد TE به ترتیب برای منابع نوری با طول موجهای ۱/۹ (a)، ۲/۲ (b)، ۲/۵ (c) و ۲/۸ (d) بر حسب μm

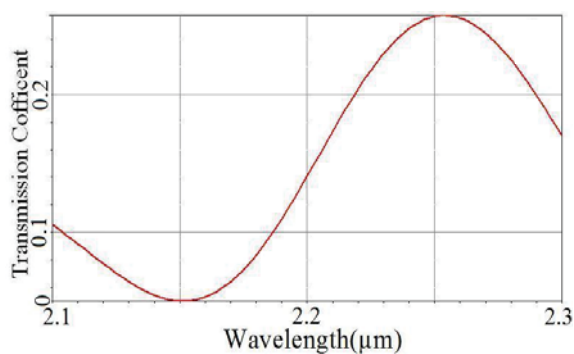
با توجه به شکل (د) در مد TM بلور فوتونی در طول موج $2/4 \mu\text{m}$ می‌تواند به عنوان فیلتر برای این طول موج عمل نماید.



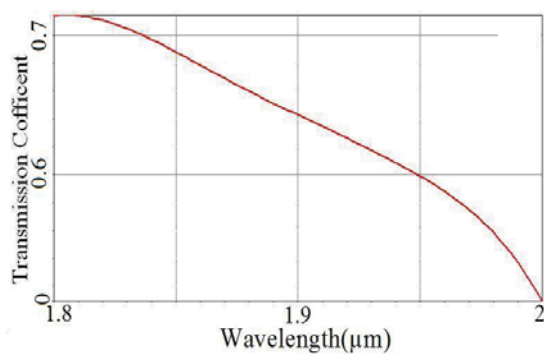
شکل ۳- ضریب عبور بلور فوتونی دو بعدی در مد TE به ترتیب برای منابع نوری از طول موج $1/9 \mu\text{m}$ تا $2/9 \mu\text{m}$ بر حسب طول موج

با توجه به شکل (۲) ضریب عبور در طول موجهای $2/5, 2/8, 2/2$ و $1/9 \mu\text{m}$ به ترتیب $0/000077, 0/000332, 0/000809$ و $0/00013$ می‌باشد. با توجه به شکل (۳) در مد TE بلور فوتونی بجز در طول موج $2/1 \mu\text{m}$ تا $2/4 \mu\text{m}$ عبور ضعیفی دارد. از این رو می‌توان آن را به عنوان یک فیلتر نوری در محدوده باند α استفاده نمود.

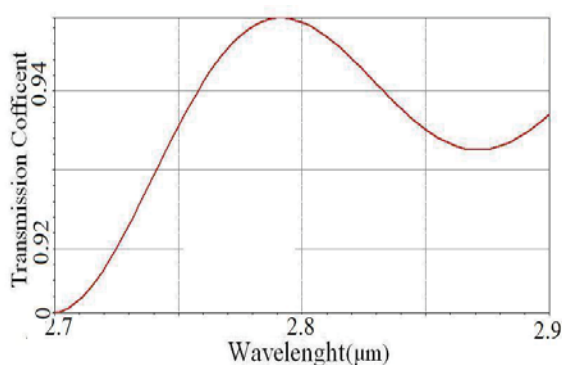
نتایج شبیه‌سازی برای مد TM در شکل (۴) ارائه شده است. با توجه به شکل (۴) ضریب عبور این مد در طول موجهای $2/8, 2/5, 2/2$ و $1/9 \mu\text{m}$ به ترتیب $0/974, 0/0949, 0/1424$ و $0/6413$ می‌باشد. ضریب عبور بلور فوتونی دو بعدی در مد TM به ترتیب برای منابع نوری با طول موجهای $1/9 \mu\text{m}$ (a)، $2/2$ (b)، $2/5$ (c) و $2/8$ (d) بر حسب طول موج در شکل (۵) ارائه شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، در مد TM بلور فوتونی در طول موج $2/4 \mu\text{m}$ ضعیف‌ترین عبور را دارد.



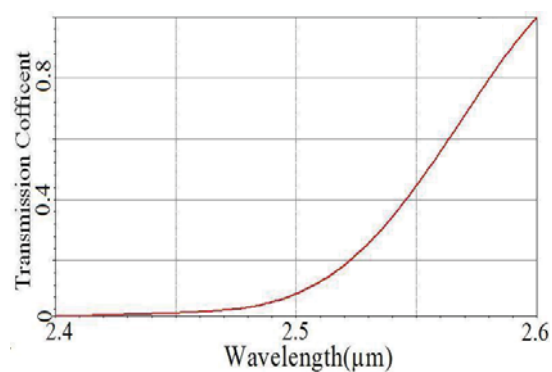
(b)



(a)



(d)

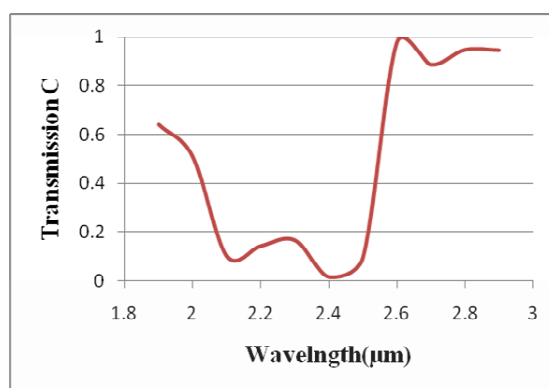


(c)

شکل ۴- ضریب عبور بلور فوتونی دو بعدی در مد TM به ترتیب برای منابع نوری با طول موج های $1/9$ (a)، $2/2$ (b)، $2/5$ (c) و $2/8$ (d) بر حسب μm

۴- نتیجه گیری

بر اساس بررسی انجام شده مشاهده می شود که بلور فوتونی سیلیکونی با شبکه مثلثی و با میله های با قطر بزرگ (d_x) برابر با $0.8a$ و قطر کوچک (d_z) برابر با $0.4a$ ، که a ثابت شبکه است، در مد TE در ناحیه باند α برای طول موج $2/8$ میکرومتر لیزر هیدروژن فلوراید با کوت کردن روی آشکارسازها می تواند به عنوان یک فیلتر مناسب انتخاب شود.



شکل ۵- ضریب عبور بلور فوتونی دو بعدی در مد TM به ترتیب برای منابع نوری از طول موج $1/9 \mu\text{m}$ تا $2/9 \mu\text{m}$ بر حسب طول موج

مراجع

1. D. H. Pollock, Countermeasure systems (The Infrared and Electro-optical systems Handbook Vol. 7), SPIS Optical Engineering Press, (1993).
2. R. D. Meade, K. D. Brommer, A. M. Rappe, J. D. Joannopoulos, *Photonic bound-states in periodic dielectric material*, *Phys. Rev.* **44**, 13772 (1991).
3. A. Mekis, J. C. Chen, Kurland, S. Fan, P. R. Villeneuve, J. D. Joannopoulos, *High transmission through sharp bends in photonic crystal waveguide*, *Phys. Rev.Lett.* **77**, 3787 (1996).
4. O. Painter, R. K. Lee, A. Yariv, A. Scherer, J. D. O'Brien, P. D. Dapkus, I. Kim, *Tow -d imensinal Photonic Crystal Defect Laser*, *Science* **284**, 1819 (1999).
5. K. Agi, E. R. Brown, O. B. McMahon, C. Dill III, K. J. Malloy, *Design of ultrawideband photonic broadband antenna applications*, *Electron. Lett.* **30**, 2166 (1994).
6. A. Taflove and S. C. Hagness, *computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method*, Artech House, Norwood, MA (2005).
7. [Www. Vrigiasemi.com](http://www.Vrigiasemi.com).

Designing α -Band IR Filter to Counter 2.8 μm Wavelength of Hydrogen-Fluoride Laser

Ali Mohammad Khazaie¹

Javad Khalil Zadeh¹

Abstract

In this computational research, a photonic crystal filter has been designed to protect passive defense sensors in α - band of IR radiation and its performance at 2.8 μm Hydrogen-Fluoride laser has been studied. The photonic crystal assumed to be a silicon elliptical bars at air background with trigonal geometry was designed. Optimum geometry for 2.5 μm wave was found and its filtration performance for considered laser wavelength was examined. Such a filter with considered large and small diameters show desired performance.

Key Words: *Photonic Crystal, Passive Defense, Electro-Optic Countermeasure, α -Band*