بهبود ضریب عبور فیلتر باند باریک بلور فوتونی دو بعدی

عمادرضا سلطانیان، کامبیز عابدی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

چکیده – در این مقاله با استفاده از شبیه سازی 2D-FDTD، اثر جایگزینی میله های مسی بجای میله های سیلیکانی در ساختار فیلتر باند باریک مبتنی بر بلورهای فوتونی دو بعدی، برای دستیابی به ضریب عبور بالا در طول موج مخابراتی ۱,۵ میکرومتر، بررسی شده است. شبیه سازی ها نشان دادند که جایگزینی میله های مسی بجای میله های سیلیکانی میان موجبر ورودی و تشدیدگر و همچنین موجبر خروجی و تشدیدگر، منجر به تزویج بهتر میدان الکتریکی میان تشدیدگر و موجبرهای ورودی و خروجی می شود. بدین ترتیب با این تکنیک، فیلتری باند باریک با ضریب عبور ۰,۹۹۶، ضریب کیفیت ۱۹۰ و فرکانس تشدید ۱۹۹,۹۳ تراهرتز حاصل شده است که علاوه بر بازده عبوری بالا، بدلیل ابعاد کوچک و سازگاری با فناوری CMOS برای اهداف آینده مخابرات دور برد، بسیار مطلوب است.

کلید واژه- بلور فوتونی دو بعدی، تشدیدگر، فیلتر باندباریک، میله مسی.

Transmission coefficient enhancement of narrow band 2D photonic crystal based filter

EmadReza Soltanian, Kambiz Abedi

Faculty of Electrical and Computer Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Abstract- In this paper, the use of copper rods in silicon 2D based photonic crystal filter for 1.5 um communication to enhance transmission coefficient was investigated. To simulate the optical behavior of the filter, 2D-FDTD is used. Simulations have shown that the replacement of copper rods instead of silicon rods between the input waveguide and resonator and also between the output waveguide and resonator, leads to better coupling between them. Thus, by means of this technique, transmission coefficient and quality factor of the filter at the resonance frequency of 199.93 Terahertz can reach 0.996 and 190, respectively. Because of CMOS compatibility, small size and high transmission efficiency, this narrow band filter is suitable for future long distance communication.

Keywords: Copper rod, Photonic crystal, Resonator, Narrow band filter.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

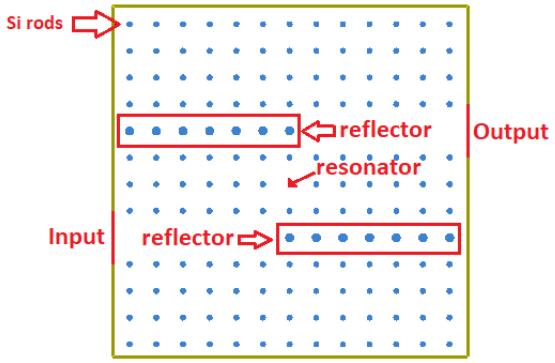
۱- مقدمه

بلورهای فوتونی به دلیل گاف باندی نوری، قابلیت کنترل انتشار نور و اتلاف کم در ساختار متناوب دی الکتریک ها [۲-۱]، به عنوان گزینه مناسبی برای طراحی و ساخت ادواتی همچون سلول های خورشیدی [۳]، فیبرهای نوری [۴]، مقسم های توان [۵]، فیلترها [۶]، حسگرها [۸]، دی مالتی پلکسرها [۹] و سایر ادوات مبتنی بر عملکرد نوری، مورد توجه بسیاری قرار گرفته اند. علاوه بر آن، مقیاس پذیری بلورهای فوتونی، بکارگیری در مدارات مجتمع را ممکن می سازد [۱۰]. با گسترش مخابرات نوری، نیاز به فیلترهای نوری که قابلیت بکارگیری در مدارات مجتمع را دارا باشند، بیش از پیش آشکار شد. فیلتر باند باریک، فیلتری است که بتواند از میان امواج الکترومغناطیسی، باند باریکی را بخوبی انتخاب کند و عبور دهد. تزویج میان یک تشدیدگر و موجبر، منجر به ایجاد یک فیلتر خواهد شد. اغلب طرح های ارائه شده برای فیلترهای نوری مبتنی بر بلورهای فوتونی مانند طرح های مراجع [۱۲-۱۱] دارای دو مشکل اساسی کمبود ضریب عبور و ضریب کیفیت، هستند. درسال ۲۰۱۶ میلادی، ونگ و همکارانش طرح فیلتر مبتنی بر بلور فوتونی را ارائه کردند که علاوه بر داشتن ضرایب عبور و کیفیت بسیار بالا که منجر به قرارگیری آن در دسته فیلترهای فوق باند باریک شد، به دلیل استفاده از نقص نقطه ای برای ایجاد تشدیدگر، دارای ابعادی بسیار کوچک (۸×۸ میکرومتر) است [۱۰] و بدین ترتیب برای استفاده در مدارات مجتمع نیز مناسب می باشد.

در این مقاله با استفاده از تکنیک بکارگیری میله مسی در ساختار طرح [۱۰] و بهره گیری از ضریب دی الکتریک منفی در محدوده فرکانسی تراهرتز با مقدار مطلق بزرگ، سعی در بهبود هرچه بیشتر ضریب عبور فیلتر مورد نظر داریم. شبیه سازی های این مقاله با روش دو بعدی تفاضل محدود حوزه زمان (2D-FDTD)، انجام شده است.

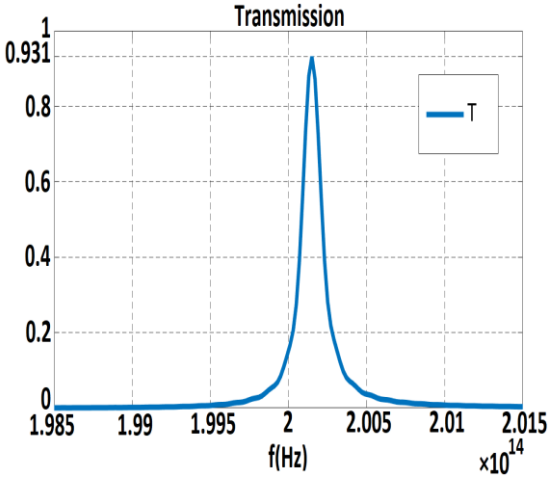
۲- مدل شبیه سازی

همانطور که در شکل ۱ دیده می شود، ساختار فیلتر [۱۰]، مبتنی بر شبکه مربعی ۱۳×۱۳ از میله های سیلیکانی در هوا و متشکل از سه قسمت ۱-موجبرها، ۲-بازتاب کننده ها و ۳-تشدیدگر است. برای ایجاد موجبر های ورودی و خروجی، ۶ میله (نقص خطی) و برای ایجاد تشدیدگر، ۱ میله (نقص نقطه ای) از ساختار حذف گردیده است. به منظور ایجاد بازتاب کنندگی، دو ردیف میله با شعاع ۱,۵ برابر و به تعداد ۷ عدد در ساختار در نظر گرفته شده است. با درنظر گرفتن ثابت شبکه a=0.6384 میکرومتر، شعاع میله ها r=0.1159×a و شعاع میله های بازتاب کننده rr=1.5×r، گاف باندی نوری برای مود TM در محدوده فرکانسی ۱۵۷,۲ تا ۲۳۲,۲ تراهرتز قرار می گیرد. ضریب دی الکتریک سیلیکان در فرکانس کاری ۲۰۰ تراهرتز معادل با طول موج ۱,۵ میکرومتر برابر با ۱۱,۴ درنظر گرفته شده است.



شکل۱: شماتیک فیلتر فوق باند باریک [10].

بدین ترتیب مود TM موج تخت از موجبر ورودی در فرکانس تشدید، توسط تشدیدگر به موجبر خروجی تزویج می شود که با شبیه سازی 2D-FDTD به نتایج جدول ۱ دست یافتیم و نمودار آن در شکل ۲ آورده شده است.



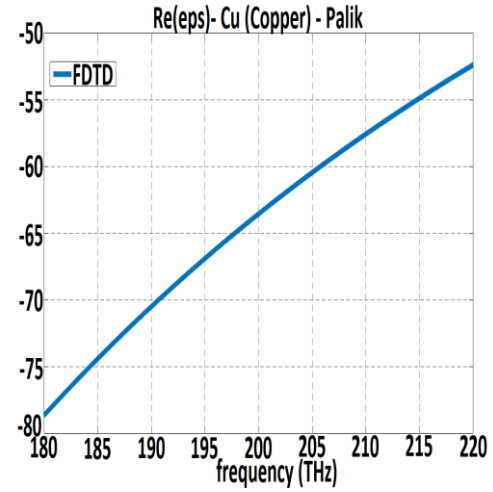
شکل۲: طیف عبور فیلتر حاصل از شبیه سازی 2D-FDTD.

همانطور که در شکل ۳ از داده های Palic می بینیم، فلز مس در بازه فرکانسی مطابق با گاف باندی فیلتر مورد

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

نظر، دارای مقادیر ضریب دی الکتریک با قسمت حقیقی منفی و قدر مطلق قسمت حقیقی بسیار بزرگتر از قسمت موهومی است که می تواند میدان را در اطراف خود متمرکز کند. بنابراین انتظار داریم با جایگزینی تعدادی از میله های سیلیکانی اطراف تشدیدگر با میله های مسی، تزویج میان موجبرهای ورودی و خروجی با تشدیدگر، بهبود یابد و بدین ترتیب به ضریب عبور بیشتری در فرکانس تشدید، دست یابیم.

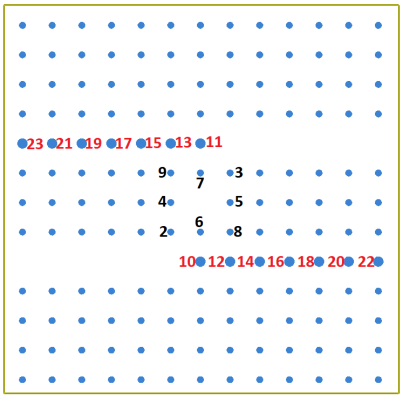


شکل۳: قسمت حقیقی ضریب دی الکتریک مس از داده های Palic.

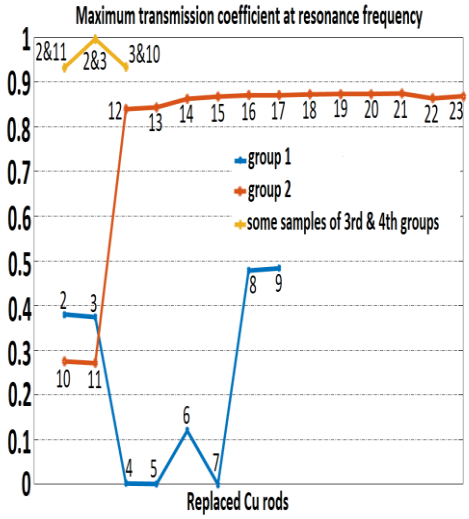
۳- نتایج شبیه سازی

برای پیمایش بهترین مکان برای جایگزینی میله های مسی، در شکل ۴، میله ها را شماره گذاری کرده ایم. میله های ۲ تا ۹ را میله های تشدیدگر، میله های ۱۰ تا ۲۳ را میله های بازتاب کننده و هر جایگزینی میله(ها) با میله(های) مسی را یک حالت می نامیم.

پیمایش را برای چهار دسته ۱-جایگزینی یک میله مسی بجای یکی از میله های تشدیدگر، ۲-جایگزینی یک میله مسی بجای یکی از میله های بازتاب کننده، ۳-جایگزینی یک جفت(دو) میله مسی بجای یک جفت از میله های تشدیدگر و ۴-جایگزینی یک جفت میله مسی بجای یک جفت ترکیبی از میله های تشدیدگر و بازتاب کننده، انجام دادیم. در شکل ۵ مقادیر بیشینه ضریب عبور در محدوده فرکانسی ۱۹۸-۲۰۲ تراهرتز برای تمامی حالات دسته های اول و دوم و به دلیل گستردگی حالات برای دسته های سوم و چهارم، تنها سه مورد از آن ها که موجب بهبود ضریب عبور شده اند، آورده شده است.



شکل۴: شماره گذاری میله های ساختار بلورفوتونی فیلتر باند باریک.



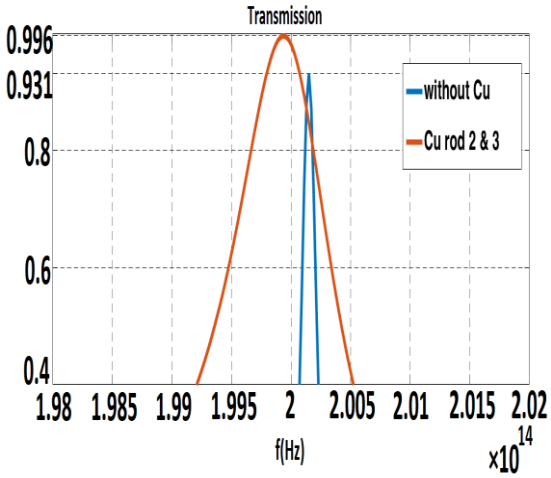
شکل۵: بیشینه ضریب عبور در جایگذاری میله(های) مسی برای تمامی حالات دسته های اول و دوم و سه حالت از دسته های سوم و چهارم.

همانطور که از شکل ۵ نمایان است، بهترین ضریب عبور با جایگزینی یک جفت میله مسی بجای میله های شماره ۲ و ۳ حاصل می شود. نمودار ضریب عبور این حالت در شکل ۶ و نتایج شبیه سازی در جدول ۱ بصورت مقایسه ای آورده شده است. در توضیح این حالت، می توان بیان نمود که میله مسی شماره ۲ منجر به تزویج بهتر میدان الکتریکی میان موجبر ورودی و تشدیدگر و میله مسی شماره ۳ منجر به تزویج بهتر میدان الکتریکی میان تشدیدگر و موجبر خروجی در فرکانس تشدید خواهد شد. بهره گیری از این تکنیک منجر می شود که حتی با تغییرات ثابت شبکه که در شکل ۷ آمده است، برخلاف نتیجه ای که درشکل ۸ در [۱۰] آمده است، ضریب عبور بیش از ۹۹ درصد در فرکانس تشدید، حاصل شود. البته در ازای دست یابی به ضریب عبور بسیار بالاتر،

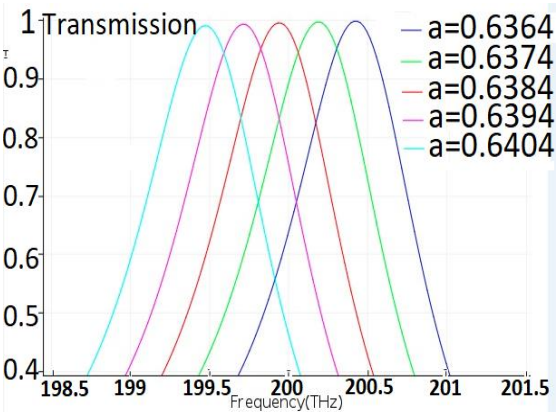
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]

ضریب کیفیت فیلتر، شدیداً افت خواهد کرد و فیلتر فوق باند باریک به فیلتر باند باریک مبدل می شود.



شکل۶: نمودار ضرایب عبور فیلتر باند باریک در دوحالت ۱-بدون جایگذاری میله مسی و ۲-جایگذاری یک جفت میله مسی با میله های شماره ۲ و ۳.



شکل۷: نمودار ضرایب عبور فیلتر باند باریک با مقادیر مختلف ثابت شبکه 'a' در واحد میکرومتر .

۴- نتیجه گیری

در این مقاله اثر تکنیک بکارگیری فلز مس در ساختار فیلتر فوق باند باریک مبتنی بر بلورهای فوتونی دو بعدی، جهت دستیابی به حداکثر ضریب عبور، مورد مطالعه قرار گرفت که مشاهده شد با جایگزینی یک جفت میله از جنس مس، ضریب عبور بیش از ۹۹ درصد حاصل می شود. اگرچه ضریب کیفیت فیلتر بشدت کاهش یافت، اما با توجه به مقدار آن، فیلتر باند باریک حاصل شد و به دلیل سازگاری مس با فناوری CMOS و همچنین ابعاد فیلتر، ساخت و بکارگیری آن برای اهداف آینده مخابرات دور برد، بسیار مطلوب است.

جدول ۱: مقایسه نتایج شبیه سازی 2D-FDTD با نتایج [10].

	T	Freq (THz)	Δf_{FWHM} (THz)	$Q = \frac{F}{\Delta f}$
مرجع [۱۰]	۰,۹۵۳	۲۰۰	۱۹۹,۹۳ - ۲۰۰,۰۸	۱۳۳۰
بدون میله مسی	۰,۹۳۱	۲۰۰,۱۵	۲۰۰,۰۸ - ۲۰۰,۲۲	۱۴۱۰
میله ها ۲ و ۳ مسی	۰,۹۹۶	۱۹۹,۹۳	۱۹۹,۳۵ - ۲۰۰,۴۲	۱۹۰

مراجع

[1] S. John, *Strong localization of photons in certain disordered dielectric super-lattices*, **Phys. Rev. Lett**. 58 (23) (1987) 2486–2489.

[2] E. Yablonovitch, *Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics*, **Phys. Rev. Lett**. 58 (20) (1987) 2059–2062.

[3] L. Zeng, et al., *Efficiency enhancement in Si solar cells by textured photonic crystal back reflector*, **Appl. Phys. Lett**. 89 (11) (2006) 3.

[4] S.E. Barkou, J. Broeng, A. Bjarklev, *Silica-air photonic crystal fiber design that permits waveguiding by a true photonic bandgap effect*, **Opt. Lett**. 24 (1) (1999) 46–48.

[5] D.C. Tee, et al., *Efficient, wide angle, structure tuned 1×3 photonic crystal power splitter at 1550 nm for triple play applications*, **J. Lightwave Technol**. 30 (17) (2012) 2818–2823.

[6] Y. Pennec, et al., *Two-dimensional photonic crystal: examples and applications*, Surf. Sci. Rep. 65 (8) (2010) 229-291

[7] C.Z. Li, et al., *A novel comb-like plasma photonic crystal filter in the presence of evanescent wave*, **IEEE Trans. Plasma** Sci. 39 (10) (2011) 1969–1973.

[8] Beiu, R.M., V. Beiu, and Ieee, *Fiber Optic Mechanical Sensor Based on a Triangular-lattice Photonic Crystal*. 2008 **Ieee Photonicsglobal**@Singapore, 2008, pp. 183–186.

[9] K. Goodarzi, A. Mir, *Design and analysis of an all-optical demultiplexer based on photonic crystal*, **Infrared Phys. Technol**. 68 (2015) 193-196

[10] Yuanyuan Wang, et al., *A super narrow band filter based on silicon 2D photonic crystal resonator and reflectors*, **Optics Communications**, vol. 363, pp. 13-20, 2016

[11] H.A. Badaoui, M. Abri, *New design of integrated 2D Photonic crystal narrow band filters using the FDTD-2D method*, **Frequenz** 68 (11–12) (2014) 511–518.

[12] S.P. Li, et al., *A tunable terahertz photonic crystal narrow-band filter*, **IEEE Photon Technol. Lett**. 27 (7) (2015) 752-754.

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد

[Downloaded from opsi.ir on 2026-10-31]