سومین کنفرانس الکترومغناطیس
مهندسی (کام) ایران
۱۳-۱۲ آذرماه ۱۳۹۳

Downloaded from www.isseem.ir at 8:00 IRST on Wednesday October 26th 2016

فیلتر نوری بلور فوتونی جدا کننده قطبش با لایه های موجدار مستطیلی

نعیم قضات*[۱]، میر مجتبی میر صالحی[۲]
۱،۲ گروه برق دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی
۱ nghozat@yahoo.com
۲ mirsalehi@um.ac.ir

چکیده – در این مقاله با ایجاد یک ساختار تناوبی مستطیلی شکل در فیلتر نوری چند لایه و بهره گیری از بلورهای فوتونی توانسته ایم فیلتری با مشخصات عبوری و بازتابی مناسب تری نسبت به فیلتر های نوری مسطح ایجاد نماییم. این فیلتر نوری بلور فوتونی با استفاده از دو لایه SiO_2 و Nb_2O_5 بر روی زیرلایه کوارتز جهت جداسازی مدهای TE و TM درطول موج ۵۰۰ نانومتر طراحی شده و در طول موج های ۴۰۰ تا۸۰۰ نانو متر مورد تحلیل قرار گرفته است. شبیه سازی ها با استفاده از روش $FDTD$ و بر پایه الگوریتم Yee صورت گرفته است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که ساختار تناوبی مستطیلی شکل پیشنهادی نسبت به ساختار تناوبی مثلثی شکل دارای قابلیت جداسازی بهتر مد TE از مد TM در طول موج ۵۰۰ نانومتر است.

کلید واژه- بلور فوتونی، فیلتر نوری، مشخصات عبور.

۱- مقدمه

وقتی ارسال همزمان اطلاعات در طول موج های مختلف مد نظر باشد نقش فیلتر نوری که از اساسی ترین بخش های یک سیستم مخابراتی است نمایان می شود. فیلترهای نوری در سیستم های WDM کاربرد دارند و لذا بهبود عملکرد آنها همواره مورد نظر بوده است.

پس از ارائه قوانین بازتاب و عبور نور توسط فرنل (Fersnel) که اساس کار فیلترهای لایه نازک است، پیشرفت در زمینه تکنولوژی های ساخت لایه های نازک نظیر روش نشاندن بخار فیزیکی (physical vapor deposition)، تولید فیلترهای نوری با لایه های زیاد میسر شد. از طرفی تولید فیلتر با لایه های زیادتر مستلزم بکار گیری روش های بهینه سازی، نظیر الگوریتم ژنتیک و روش بهینه سازی گروه ذرات (PSO) بوده و دراین راستا نیز پژوهش هایی صورت گرفته است [۱].

درسال های اخیر استفاده از روش های بهینه سازی و طراحی فیلتر با لایه های زیاد جای خود را به اعمال تکنیک های جدید به فیلترهای نوری داده است که بلورهای فوتونی در این میان بیشترین توجه را به سمت خود جلب کرده است. بلورهای فوتونی یا ساختار های متناوب دی الکتریک چند بعدی مصنوعی، دارای تناوب دوره ای مناسبی از ثابت دی الکتریک هستند که این عامل باعث ایجاد شکاف باند نوری قابل کنترل و طراحی ساده تر می شود [۲]. با استفاده از خاصیت شکاف باند بلورهای فوتونی می توان فوتون های نوری را در یک محیط دی الکتریک کنترل کرد.

فیلتر نوری بلور فوتونی با لایه های موجدار مثلثی از جمله ساختارهای بلور فوتونی در فیلترهای نوری است [۳]. با استفاده از این ساختار یک فیلتر بلور فوتونی برای جدا کردن مدهای TE و TM ارائه شده است [۴]. فیلتر نوری ارائه شده در این مقاله هم بر اساس همین روش و با ساختار جدید مستطیلی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

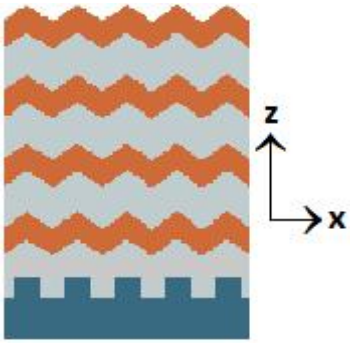
در بخش بعد پس از معرفی فیلتر نوری بلور فوتونی مستطیلی نحوه طراحی آن بیان شده است. در بخش ۳ منحنی های مشخصه

Downloaded from www.isseem.ir at 8:00 IRST on Wednesday October 26th 2016

فیلتر طراحی شده به صورت نمودارهای مربوط به طیف عبوری بدست آمده و مقایسه ای بین فیلتر های نوری مستطیلی، مثلثی و مسطح صورت گرفته است. بخش ۴ نیز به نتیجه گیری اختصاص داده شده است.

۲- طراحی

فیلتر نوری چند لایه موجدار نسبت به فیلتر های نوری مسطح دارای خواص مناسبتری است. ساختار فیلتر نوری چند لایه موجدار مثلثی در شکل ۱ نشان داده شده است. این فیلتر در تابش های عمودی به صورت یک جدا کننده مد های TE و TM عمل می کند [۴].



شکل ۱: فیلتر بلور فوتونی موجدار مثلثی [۴]

ساختار فیلتر فوق از دو نوع ماده با ضریب شکست های بالا و پایین تشکیل شده است. لایه های نازک به کار رفته در ساختار فیلتر باید دی الکتریک های بدون تلفات با ضرایب شکست مناسب باشند. سیلیکا (SiO_2) و نیوبیوم پنتواکسید (Nb_2O_5) به ترتیب برای لایه ضریب شکست پایین و لایه ضریب شکست بالا به کار رفته است. تعداد لایه ها ۱۲ جفت متناوب (و یا ۲۴ عدد تکی) و ضخامت آنها در مجموع ۲۶۹ نانومتر برای هر جفت لایه بوده و بر روی زیر لایه کوارتز (Quartz) قرار دارند. ضخامت لایه SiO_2 برابر با ۱۶۱ نانومتر و ضخامت لایه Nb_2O_5 برابر با ۱۰۸ نانومتر است [۴].

در این تحقیق طراحی یک فیلتر نوری چند لایه موجدار مستطیلی شکل که قادر به جداسازی مدهای TE و TM در طول موج ۵۰۰ نانومتر باشد و مقایسه مشخصه طیف عبوری آن با فیلتر طراحی شده در مرجع [۴] مورد نظر بوده است. برای بدست آوردن ضخامت هر لایه از رابطه (۱) استفاده شده است [۵].

$$n_1 d_1 = n_2 d_2 = m\frac{\lambda}{4} \qquad (۱)$$

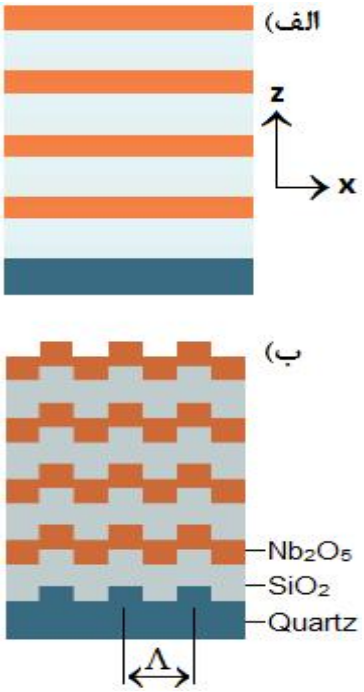
در این رابطه m یک عدد طبیعی، λ طول موج مورد نظر و n_1 و n_2 به ترتیب ضرایب شکست لایه های با ضخامت d_1 و d_2 است.

اگر دوره تناوب موج مستطیلی هرلایه از فیلتر را با Λ مشخص کنیم، این پارامتر بر اساس رابطه (۲) قابل محاسبه است[۶].

$$\Lambda = \frac{3\lambda}{2(n_1+n_2)} \qquad (۲)$$

در رابطه (۲) ضرایب شکست n_1 و n_2 به ترتیب ضرایب شکست لایه های SiO_2 و Nb_2O_5 در طول موج λ است.

در شکل ۲ ساختار فیلتر بلور فوتونی موجدار مستطیلی به همراه فیلتر نوری با لایه های مسطح نشان داده شده است.



شکل ۲: فیلتر نوری الف) لایه مسطح ب) موجدار مستطیلی

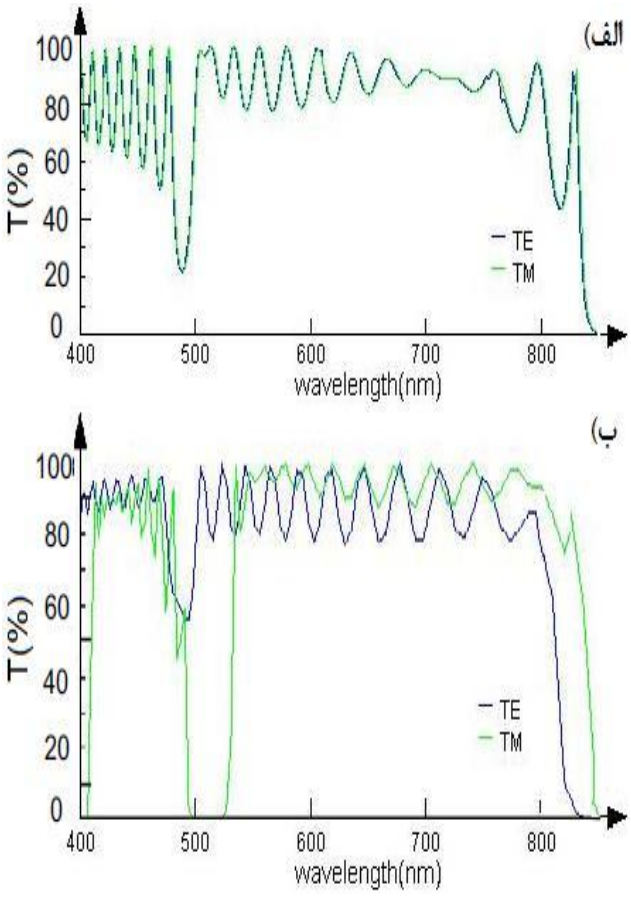
در این شکل لایه های با ضریب شکست های بالا و پایین بر روی زیر لایه کوارتز مشخص شده است. برای این ساختار نیز ضخامت لایه ها در رابطه (۱) و دوره تناوب فیلتر موجدار در رابطه (۲)

Downloaded from www.isseem.ir at 8:00 IRST on Wednesday October 26th 2016

صدق می کند. بنابر این دوره تناوب موج مستطیلی هر لایه از فیلتر برابر با ۱۹۰ نانومتر و نیز ضخامت لایه ها برای SiO_2 و Nb_2O_5 به ترتیب مقادیر ۱۶۱ و ۱۰۸ نانومتر محاسبه شده است.

۳- نتایج شبیه سازی

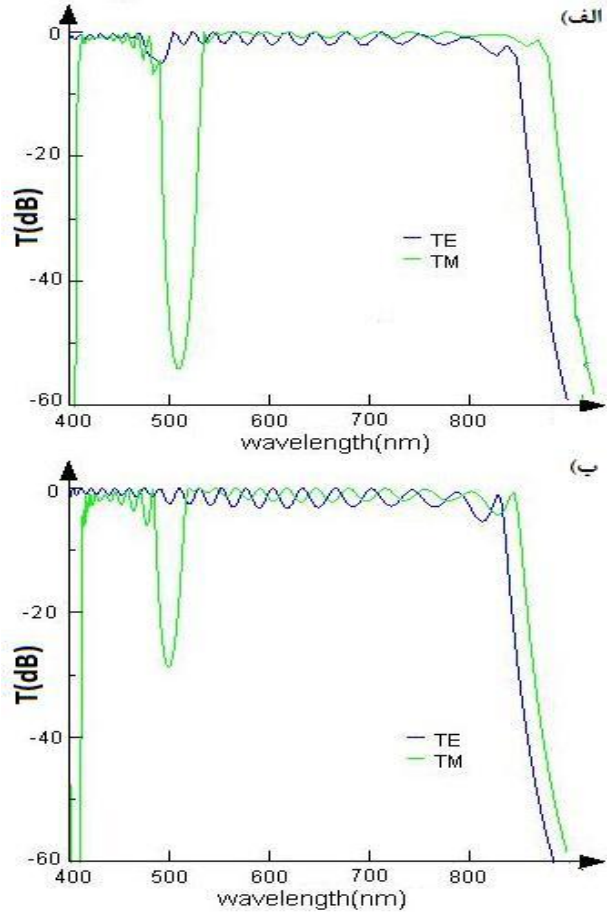
شکل ۳ نمودار های عبوری فیلتر نوری لایه مسطح و فیلتر موجدار مستطیلی را در مقیاس عددی و به درصد نشان می دهد. این نمودارها بر اساس پارامترهای ذکر شده در بخش قبل بدست



شکل۳: الف) طیف عبوری فیلتر نوری چند لایه مسطح ب) طیف عبوری فیلتر نوری موجدار مستطیلی

آمده است. همانگونه که ملاحظه می شود برای فیلتر لایه مسطح در تمام طول موج های بین ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر برای هر دو مد TE و TM تقریبا به یک صورت عبور داریم. در ضمن در طول موج ۵۰۰ نانو متر شکاف باند نسبتا باریکی ایجاد شده است. در طول موج حدود ۵۰۰ نانومتر در مشخصه فیلتر موجدار مستطیلی، مد TM دارای شکاف باند قابل توجهی است که آن را در این طول موج از مد TE جدا می نماید.

در شکل ۴ نمودار عبوری فیلتر نوری موجدار مثلثی و مستطیلی در مقیاس لگاریتمی برای مقایسه دقیق تر نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است عمق باند طیف عبوری فیلتر نوری موجدار مستطیلی در طول موج ۵۰۰ نانومتر ۵۴ dB- و برای فیلتر نوری موج دار مثلثی در حدود ۲۸ dB- است. این



شکل۴: طیف عبوری فیلتر نوری چند لایه در مقیاس لگاریتمی الف) موجدار مستطیلی ب) موجدار مثلثی

نتایج نشان می دهد که فیلتر نوری موجدار مستطیلی نسبت به فیلتر نوری موجدار مثلثی دارای قابلیت جداسازی بهتر مد TE از

Downloaded from www.isseem.ir at 8:00 IRST on Wednesday October 26th 2016

مد TM است. در ضمن طیف عبوری فیلتر نوری بلور فوتونی در حالت مستطیلی نسبت به حالت مثلثی دارای نوسانات کم دامنه تری شده است.

تحلیل این ساختارها با استفاده از روش عددی تفاضل محدود در حوزه زمان (FDTD) بر پایه الگوریتم یی (Yee) صورت گرفته است[۷]. شرایط مرزی در این روش حل در راستای z جذب کامل (PML) و در راستای x به دلیل عمودی بودن تابش شرط مرزی متناوب (periodic) است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک فیلتر چند لایه نوری بلور فوتونی مستطیلی معرفی و مزایای آن نسبت به دو نوع فیلتر نوری لایه مسطح معمولی و فیلتر بلورفوتونی مثلثی بیان شد. همانگونه که در نتایج شبیه سازی دیده شد، فیلتر پیشنهادی نسبت به این دو فیلتر در طول موج ۵۰۰ نانومتر مد TE را با عمق باند بیشتری از مد TM جدا می کند. در ضمن در بازه ۴۰۰ تا ۸۰۰ نانومتر نیز دارای دامنه نواسانات کمتری نسبت به ساختارهای قبلی است.

مراجع

[1] J. Baedi, H. Arabshahi, M. Gordi Armaki, and E. Hosseini, "Optical design of multilayer filter by using PSO algorithm," *J. Appl. Sci. Eng. Technol,* Vol.2, No. 1, pp. 56-59, 2010.

[2] E. Yablonovitch, "Photonic band-gap structures," *J. Opt. Soc. America*, Vol. 10, No. 2, pp. 283-295, 1993.

[3] T. Kawashima, T. Tamamura, Y. Ohtera, T. Sato, and S. Kawakami, "Photonic crystal polarisation splitters," *Electronic Letters*, Vol. 35, No. 15, pp. 1271–1272, 1999.

[4] Y. Ohtera, S. Nagasawa, T. Onuki, and H. Kuwano, "Tunable optical filter using autocloned photonic crystal," *MEMS IEEE Conf. Istanbul*, pp. 22-26, 2006.

[5] Y. Ohtera, Y. Inoue, and T. Kawashima, "Sharp edge wavelength filters utilizing multilayer photonic crystals," *Optics Express*, Vol. 17, No. 8, pp. 6347-6356, 2009.

[6] E. Yablonovitch, "Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics," *Physical Review Letters,* Vol. 58, No. 20, pp. 2059-2062, 1987.

[7] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media," *IEEE Trans. Antennas Propagat*, Vol. AP-14, No. 3, pp. 302–307, 1966.