بیست و پنجمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و یازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه شیراز، شیراز، ایران. ۹-۱۱
بهمن ۱۳۹۷

شبیه سازی و مطالعه فیلتر میان گذر تراهرتز برای کم کردن پهنای فرکانسی

احمد ساجدی، مجید ناظری و امیر علیزاده

گروه لیزر و فوتونیک دانشکده فیزیک، دانشگان کاشان، کاشان، ایران

m_nazeri@kashanu.ac.ir

چکیده – در این مقاله یک فیلتر میان گذر تراهرتز با استفاده از نرم افزار سی اس تی مدلسازی شده است. با توجه به اینکه میزان پهنای طیف خروجی از فیلتر یکی از فاکتورهای مهم و اساسی در این نوع فیلترها محسوب می شود، دو نمونه از این فیلترها در فواصلی از مضرب طول موج، بر طبق اصول فابری پرو، پشت سر هم قرار گرفته‌اند که این کار باعث کم کردن مقدار پهنای فرکانسی می‌شود. این نظریه در محدوده فرکانس های مختلف (بازه ۰.۵ تا ۲.۵ تراهرتز) بررسی شده است. در نهایت اثر زاویه موج برخوردی به فیلتر نیز مورد تحلیل و برررسی قرار گرفته است که نشان می دهد بسته به زاویه موج برخوردی به فیلتر، قله فرکانسی طیف خروجی جابجا می شود. با استفاده از این روش طیف خروجی از فیلتر برای استفاده در کاربردهای مختلف قابل تنظیم می‌باشد.

کلید واژه- پهنای فرکانسی، فیلتر میان گذر تراهرتز، نرم افزار سی اس تی

Simulation and study of terahertz bandpass filter to reduce frequency bandwidth

Ahmad Sajedi, Majid Nazeri, and Amir Alizadeh

Department of Laser & Photonics, Faculty of Physics, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract - In this paper, a bandpass filter is simulated using CST software. Considering that the width of the output spectrum of the filter is one of the most important factors in these types of filters, two of these filters are placed in intervals of wavelength, according to the principles of Fabry Perot, This will reduce the amount of bandwidth. This theory has been investigated in a range of frequencies (0.5 to 2.5 terahertz). Finally, the incidence wave angle on the filter has also been analyzed, which indicates that, depending on the angle of the incidence wave, the frequency peak of the output spectrum is displaced. Using this method, the output spectrum of the filter can be used in tunable applications.

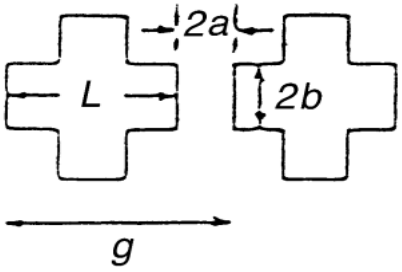
Keywords: Frequency bandwidth, THz bandpass filter, CST software

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

مقدمه

به دست آوردن محدوده دقیق فرکانسی (مخصوصاً فرکانس تراهرتز) در یک محدوده وسیعی از فرکانس‌ها باعث شده که فیلترهایی به عنوان فیلترهای میان گذر تراهرتز طراحی و ساخته شود. این فیلترها دارای کاربردهایی در تصویربرداری، اسپکتروسکوپی، حسگرهای مولکولی، سیستم‌های امنیتی، تشخیص مواد و ... می‌باشند [۵-۱]. بررسی ابعاد طول و عرض و دوره تناوب آرایه‌های فیلتر برای حالات مختلف در منابع بررسی شده است که نشان می‌دهد تغییرات این ابعاد باعث جابجایی قله فرکانسی می شود (شکل ۱ و رابطه ۱) [۱].

علاوه بر طول و ابعاد فیلتر، ضخامت غشاء فلزی نیز فاکتور مهمی است که در مشخصات فیلتر در فرکانس‌های محدوده تراهرتز موثر می‌باشد[۲]. برخی از اشکال هندسی نظیر آرایه‌های مربعی، دایروی، حلقوی و جفت حلقه‌های رسانا به عنوان ساختار فیلتر در بسیاری از منابع بررسی شده است[۵-۱].



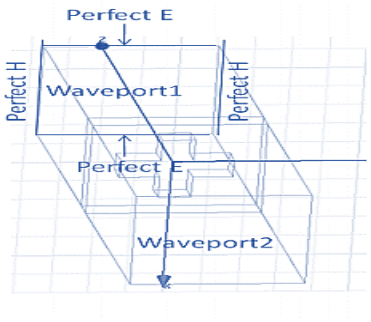
شکل ۱) ابعاد فیلتر پلاس برای به دست آوردن فرکانس رزونانس [۱]

$$\lambda_R = 2(g - 2a - b) \qquad (1)$$

در این مقاله در ابتدا، فیلتر طراحی شده در منبع [۴] شبیه سازی شد – شکل ۳- تا با مقایسه نتایج، اعتبار و دقت روش شبیه سازی بررسی شود. در ادامه برای کم کردن میزان پهنای فرکانسی دو نمونه از این فیلترها در فواصل مختلف از طول موج مرکزی قرار داده شده است.

روش شبیه سازی

برای شبیه سازی فیلترها، با حل معادلات ماکسول در حوزه زمان، توزیع میدان الکترومغناطیسی در فضای سه بعدی در محدوده فرکانسی ۰.۵ تا ۲.۵ تراهرتز بررسی می شود. شبیه سازی انجام شده با نرم افزارهای تجاری CST در حوزه زمان صورت گرفته است (در بسیاری از منابع از نرم افزار HFSS نیز استفاده شده است) و شرایط مرزی به کار برده شده در شکل ۲ بیان شده است[۴-۱].



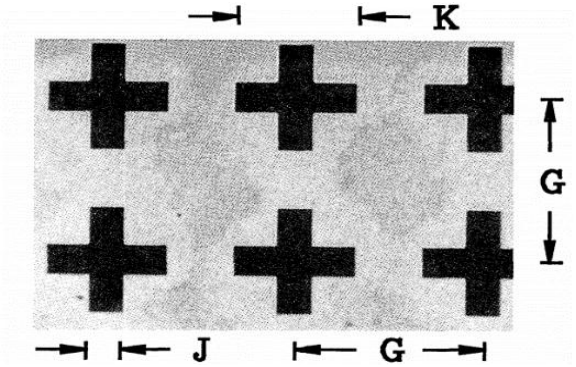
شکل ۲) شرایط مرزی در نرم افزارهای شبیه ساز [۴-۱]

ساختار فیلتر و نتایج

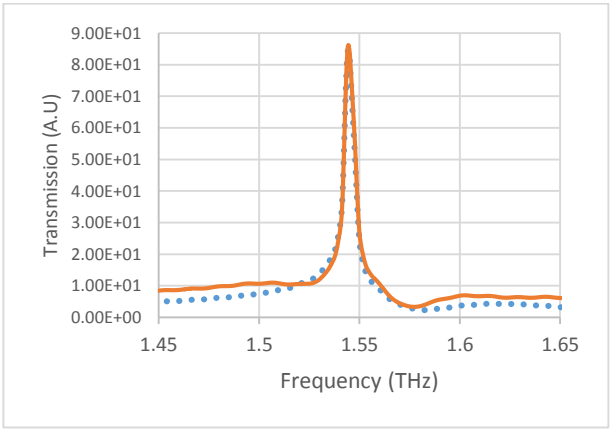
یک فیلتر میان گذر از جنس فلز با رسانندگی کامل (معمولا مس) با ضخامت ۰.۳ میکرومتر (شکل ۳)، توسط نرم افزار CST شبیه سازی شد. در این شبیه سازی یک موج گوسین با فرکانس بین ۰.۱ تا ۵ تراهرتز به فیلتر بیان شده در شکل ۳ برخورد می‌کند. شکل ۴ نتایج شبیه سازی رفتار این فیلتر و طیف خروجی آن را نشان می دهد. با مقایسه نتایج شبیه سازی با داده‌های قبلی [۵-۴] تطابق خوبی مشاهده شده است.

در ادامه بررسی اثر فابری پرو در یک ترکیب دوتایی از این فیلتر با فاصله‌هایی معادل λ، $\lambda/2$ و $\lambda/4$ (مضاربی از طول موج λ) از طول موج مرکزی فیلتر در نواحی مختلف فرکانسی (۰.۶، ۱.۵۴ و ۲.۴ تراهرتز) مورد مطالعه قرار گرفته است (شکل۵). این کار باعث می‌شود پهنای فرکانسی نسبت به حالت اولیه (حالت تک فیلتر) کمتر شود. (شکل ۸-۶)

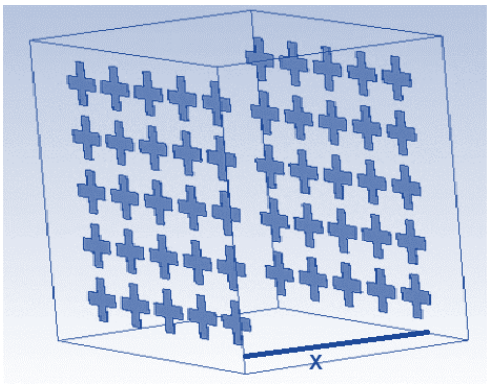
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.



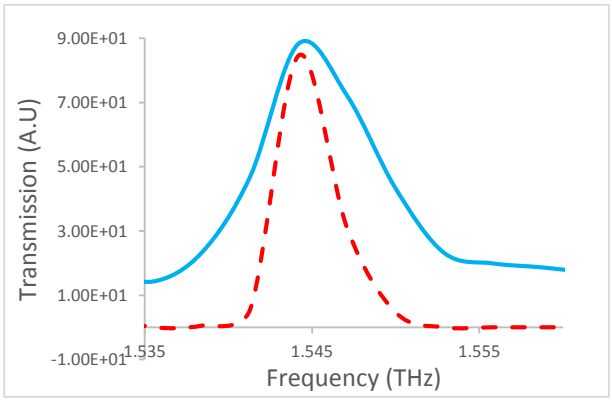
شکل۳) ابعاد فیلتر پلاس(G,K,j به ترتیب برابر با ۱۵۴، ۱۰۰ و ۲۹ میکرومتر است) [۴]



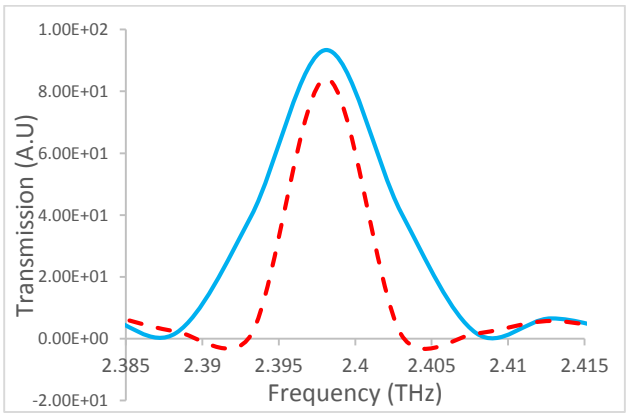
شکل ۴-فرکانس خروجی از فیلتر پلاس الف) نتایج تجربی (نمودار نقطه چین) [۱] ب) نتایج شبیه سازی (نمودار خط چین)



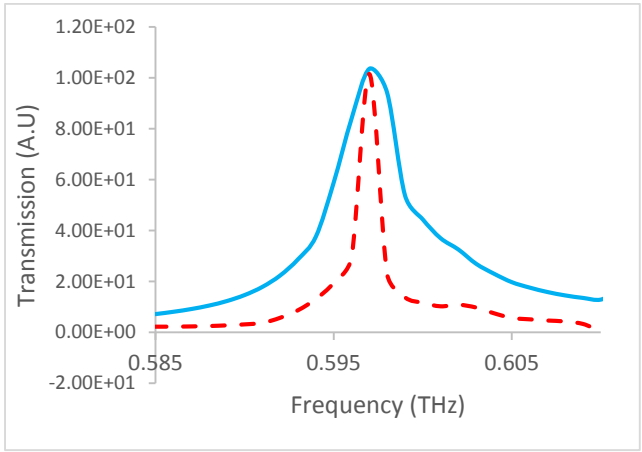
شکل۵) دو فیلتر پلاس پشت سر هم در فاصله x



شکل ۶- بررسی پهنای فرکانسی در فرکانس مرکزی ۱.۵۴ تراهرتز به ازای $x = \lambda$ - حالت تک فیلتر (نمودارخط چین) و حالت دو فیلتر پشت سر هم (نمودار نقطه چین)



شکل ۷- بررسی پهنای فرکانسی در فرکانس مرکزی ۲.۴ تراهرتز به ازای($x = \frac{\lambda}{2}$) حالت تک فیلتر (نمودار خط چین)و حالت دو فیلتر پشت سر هم (نمودار نقطه چین)



شکل ۸- بررسی پهنای فرکانسی در فرکانس مرکزی ۰.۶ تراهرتز به ازای $x = \frac{\lambda}{4}$) حالت تک فیلتر (نمودار خطی)- حالت دو فیلتر پشت سر هم (نمودار نقطه چین)

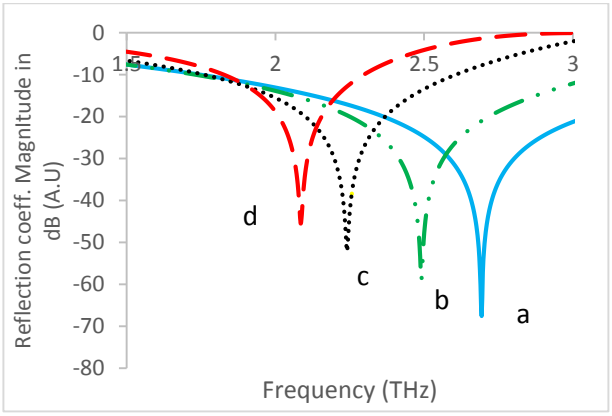
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

نتایج بدست آمده با تئوری تداخل سنج‌های فابری پرو که می گوید گذاشتن دو فیلتر پشت سر هم در فواصل مضربی از نصف طول موج باعث کاهش پهنای فرکانسی می شود [۱-۵] همخوانی دارد.

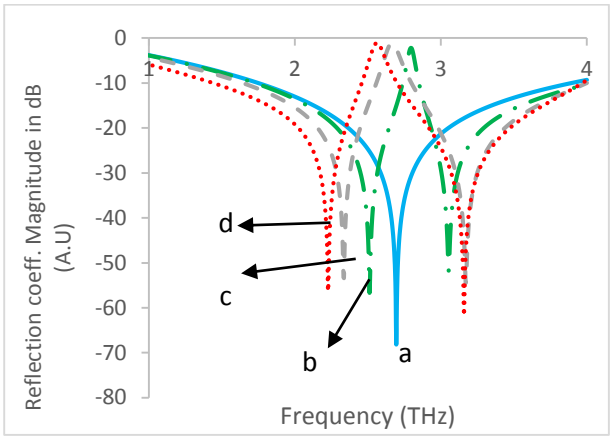
اثر زاویه تابش موج فرودی در رفتار فیلتر

اثرات تغییر زاویه موج برخوردی به فیلتر برای برخی فیلترها - فیلتر با دیسک های شیاردار (خورشیدی) - بررسی شده است [۵]. در این جا نیز اثرات زاویه برخورد بر روی فیلتر میان گذر پلاس (شکل ۳) بیان شده است.

اثر تغییر زاویه در موج برخوردی به فیلتر پلاس، برای دو مد TM, TE مقایسه شده است. در مد TE تغییرات زاویه موج ورودی باعث تغییر قله فرکانسی می شود (شکل ۹) اما در مد TM علاوه بر تغییر قله فرکانسی، قله دوم نیز مشاهده می‌شود (شکل ۱۰). شکل‌های ۹ و ۱۰ ضریب انتقال از فیلتر در زوایای مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۹) تغییرات زاویه θ (۰-۲۰-۴۰-۶۰ درجه) به ترتیب در نمودار (a- b- c- d) در مد TE



شکل ۱۰) تغییرت زاویه θ (۰- ۲۰- ۴۰-۶۰ درجه) به ترتیب در نمودار(a- b- c- d) در مد TM

نتیجه‌گیری

در این مقاله، در ابتدا یک فیلتر میان گذر، شبیه سازی شده و با نتایج تجربی [۱] مطابقت داده شده است(شکل ۴). در ادامه برای کم کردن پهنای فرکانسی فیلترهای میان گذر دو نمونه از این فیلترها در فواصل مختلف پشت سر هم گذاشته شده است.

مرجع‌ها

[1] Möller, K. D., et al. "Cross-shaped bandpass filters for the near and mid-infrared wavelength regions." Applied Optics 35.31 (1996): 6210-6215.

[2] Demirhan, Yasemin, et al. "Metal mesh filters based on Ti, ITO and Cu thin films for terahertz waves." *Optical and Quantum Electronics* 48.2 (2016): 170.

[3] Ren, Zhibin, et al. "Wide wavelength range tunable guided-mode resonance filters based on incident angle rotation for all telecommunication bands." *Infrared Physics & Technology* 93 (2018): 81-86.

[4] Fang, Bo, et al. "Numerical investigation of terahertz polarization-independent multiband ultrahigh refractive index metamaterial by bilayer metallic rectangular ring structure." *RSC Advances* 8.40 (2018): 22361-22369.

[5] Chen, Lin, et al. "Excitation of dark multipolar plasmonic resonances at terahertz frequencies." *Scientific reports* 6 (2016).

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