بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک
ایران و دوازدهمین کنفرانس مهندسی و فناوری
فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

طراحی و شبیه سازی فیلتر نوری تنظیم پذیر فابری-پرو با تکنولوژیMOEMS

عبداله علیزاده، فردین رشمانی

بناب، انتهای بزرگراه ولایت، دانشگاه بناب، گروه مهندسی برق -الکترونیک، کد پستی ۵۵۵۱۷۶۱۱۶۷

Email: alizadeh@bonabu.ac.ir

Email: far.ra1375@gmail.com

چکیده - تداخل سنج های اپتیکی، در زمینه‌هایی که احتیاج به تنظیم دقیق طول موج دارند بسیار پرکاربرد هستند. تداخل‌سنج ها می‌توانند طول موج خا صی را با کمک تداخل های سازنده تقویت و بقیه طول موج ها را ت ضعیف کنند، و اگر در م سیر عبور نور قرار گیرند می توانند به عنوان یک فیلتر طول موج عمل کنند. یکی از انواع تداخل سنج های اپتیکی تداخل سنج فابری پرو می‌باشد. در این تحقیق با یکپارچه سازی فیلتر تنظیم پذیر اپتیکی فابری پرو که با دو عدد DBR در ست شده، با ادوات MEMS، فیلتر نوری با تنظیم پذیری الکتریکی ارائه می شود. ساختار فیلتر قابل تنظیم از دو بخش الکتروا ستاتیکی و اپتیکی ت شکیل شده ا ست. بخش اپتیکی شامل کاواک فابری پرو، که از یک جفت آینهDBR با لایه هایی با ضریب شکست n_H=۲/۱ و n_L=۱ ، که یک طرف ثابت و طرف دیگر، مت صل بر فینگر سی ستم محرکMEMS ، ا ست. بخش الکتروا ستاتیکی ساختار، دارای درایوهای شانه ای ا ست که با اعمال ولتاژ از ۰ تا ۴ ولت به شـــانه‌ها باعث تغییر طول کاواک و در نتیجه تغییر طول موج عبوری در محدوده ۱۴۰۰ تا ۱۹۲۰ نانومتر، و محدوده‌ی تنظیم پذیری ۵۲۰ نانومتر می‌شود.

کلید واژه- فیلتر نوری تنظیم پذیر، کاواک فابری پرو، محرک شانه ای، MOEMS

Design and Simulation of the tunable Optical Fabry-Perot filter by MOEMS technology

Abdollah Alizadeh, Fardin Rashmani

Department of Electrical Engineering, University of Bonab, Bonab 5551761167, Iran.

E-mail: alizadeh@ubonab.ac.ir, Email: far.ra1375@gmail.com

Abstract- Optical interferometers, are very useful in various fields, where requiring precise wavelength tuning. Interferometers can amplify certain wavelengths with constructive interference and attenuate the rest, and can act as a wavelength filter. One of the well-known optical interferometers is the Fabry Perot cavity. In this study, an electrically adjustable optical filter is provided by integrating the Fabry Perot interferometer with two DBRs. DBR mirrors are 5 periodic layer with refractive index 2.1 and 1 respectively. The electrostatic part of the structure is a comb drives which supplied from 0 to 4 volts to change the cavity length, thereby tuning the center wavelength in the range 1400 to 1920 nm, and the adjustable range 520nm achieved.

Keywords: Tuneable Optical Filter, Fabry-perot Cavity, Comb Drive, MOEMS

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

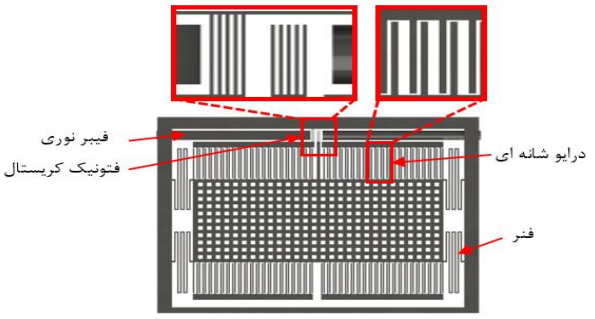
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

مقدمه

در دهه های اخیر ، توسعه‌ی میکرو ماشین، به سیستم های میکروالکترومکانیکی MEMS[1] منجر شد که امروزه به طور وسیع و بصورت تجاری در سنسورها و محرک ها مختلف به کار برده می شوند. نوع مهمی از محرک های MEMS ، محرک های درایو شانه ای الکترواستاتیک هستند. آنها در اندازه گیری پارامترهای فیزیکی مثل اندازه گیری شتاب، اینرسی[۱] و غیره که در صنایع مختلف مانند مهندسی پزشکی، مخابرات نوری[۳]. کاربرد دارند. معماری اصلی اولین محرک های MEMS سیستم جرم معلق و فنر است که شامل فنرهای خمشی و انگشت های شانه ای است[۳]. انگشتان شانه به عنوان اجزای درایو شانه مثل صفحات خازن های موازی عمل می کند. پیشرفت در تکنولوژی ساخت ابعاد کوچکتر در سایز میکرو و بخصوص در DBR[2] ها منجر به ایجاد زمینه پژوهش گسترده ای در فیلتر های نوری تنظیم پذیر شده است. در این روش با کمک تعداد زیادی از دوره های براگ گریتینگ به آینه های دی الکتریک با پهنای باند زیاد و بازتاب بالا می سوان رسید. با ترکیب در عدد DBR می‌توان کاواک فابری-پرو (FP) مونتاژ کرد. اخیراً، چند کاربرد مبتنی بر کاواک های FP مانند فیلترهای تنظیم پذیر[۴]، مدولاتور دامنه[۵]، حسگر نویز مکانیکی حرارتی[۶] و سنسور ضریب شکست[۷] ارائه شده است. برای بهتر شدن عمل کرد باید طیف مورد اندازه گیری تیز باشد، برای این کار نیاز به افزایش دامنه طیفی آزاد (FSR)[3] و کاهش عرض کامل در نیمی از حداکثر (FWHM)[4] است. کاهش همزمان FWHM و افزایش FSR باعث افزایش میزان تفکیک و دقت بیشتر کاواک فابری-پرو می شود. نوآوری استفاده شده در این کار بالا بودن محدوده‌ی تنظیم پذیری و FSR، نسبت به کارهای انجام شده می‌باشد[۸]،[۹]. در سیستم های MEMS اگر از سیگنال نوری برای اندازه گیری استفاده شود این ترکیب را MOEMS یا سیستم های میکرو-اپتو-الکترو-مکانیکی نام می دهند.

طراحی سیستم محرک MOEMS

ایده MOEMS ارائه شده در این کار یک محرک شانه از جنس سیلیکون است که با دو عدد DBR پنج لایه یکپارچه شده است. که اساساً بر پایه تغییر طول کاواک و در نتیجه تغییر طول موج مرکزی رزونانس کار می کند. شکل ۱ تصویر شماتیک سیستم MOEMS را نشان می‌دهد. در این ساختار فیلتر نوری فبری پرو با سیستم محرک شانه یکپارچه شده است. فیلتر نوری، کاواک فابری پیرو است که آیینه های آن بصورت DBR با لایه های پریودیک با ضرایب شکست ۲/۱ و ۱ تشکیل شده است. آیینه DBR سمت چپ درون فیبر قرار می‌گیرد و ثابت است. آیینه سمت راست متحرک می‌باشد و بر روی انگشت جرم معلق قرار گرفته است.



شکل ۱: ساختار محرک MOEMS فیلتر فابری پرو

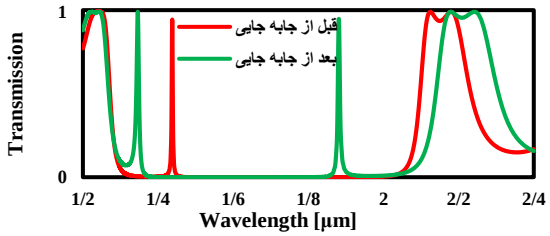
ورودی سیستم موج الکترومغناطیسی طیف گسترده می باشد که بصورت موج تخت به پورت ورودی موجبر یا سمت چپ DBR ورودی اعمال می‌شود، و بعد از عبور از آینه براگ سمت چپ وارد داخل کاواک می‌شود و سپس بعد از

1-Micro Electro Mechanical Systems
2-Distributed Bragg Reflector
3-Free Spectral range
4-Full Width Half Maximum

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

گذر از کاواک و عبور از آیینه براگ یا DBR سمت راست، از طریق موجبر به خروجی میرود و در نهایت توسط آشکارساز نوری به سیگنال الکتریکی تبدیل می شود. تابع انتقال بین ورودی و خروجی بصورت یک فیلتر میانگذر باریک خواهد بود که با تغییر موقعیت آیینه سمت راست طول موج مرکزی تغییر می کند. تابع انتقال ساختار برای دو موقعیت مختلف آیینه ها در شکل ۲ نمایش داده شده است.



شکل ۲: طیف عبور فیلتر فابری-پرو قبل و بعد از جابه جایی جرم معلق

جابجایی آیینه های DBR سمت راست ساختار، ناشی از ولتاژ اعمال شده به انگشتان درایو شانه ایی است. درایو شانه از دو بخش الکترود های ثابت و الکترودهای متحرک متصل به جرم معلق تشکیل شده است. با اعمال ولتاژ به الکترودهای ثابت، جرم معلق در جهت $x+$ جابجا می شود. با جابجا شدن جرم معلق ، قسمت متحرکDBR متصل به آن(DBR سمت راست) در جهت $x+$ جابجا می شود. این جابجایی باعث تغییر طول کاواک می شود و باعث انتقال طول موج مرکزی به سمت طول موج های بالا می شود. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، در صورت قطع ولتاژ اعمال شده، با نیروی الاستیک تولید شده توسط فنرهای سمت چپ و راست، جرم معلق به موقعیت اولیه خود برگردانده می شود. بدیهی است با کنترل مقدار ولتاژ اعمال شده به انگشتان درایو شانه و می‌توانیم جابجایی جرم معلق و در نتیجه میزان شیفت طول موج مرکزی فیلتر را کنترل کنیم. رفتار دینامیکی DBR بکار گرفته شده را می‌توان با سیستم جرم و فنر مدل سازی کرد. معادله دیفرانسیل بیان کننده رفتار دینامیکی این سیستم بصورت معادله دیفرانسیل مرتبه دوم خواهد بود که در رابطه (۱) آورده شده است. نیروی الکترواستاتیک ایجاد شده و ظرفیت خازنی دو طرف شانه ها در روابط(۲) تا (۵) ارائه شده است.

$$m\frac{d^2x}{dt^2}+b\frac{dx}{dt}+kx=F_{es} \quad (۱)$$

$$U=\frac{1}{2}C_1V^2+\frac{1}{2}C_2V^2 \quad (۲)$$

$$F_{es}=\frac{\partial U}{\partial x}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial C_1}{\partial x}\right)V^2+\frac{1}{2}\left(\frac{\partial C_2}{\partial x}\right)V^2 \quad (۳)$$

$$C_1=\frac{2n\varepsilon_0 A}{x} \quad (۴)$$

$$C_2=\frac{2n\varepsilon_0 A}{g_{Comb}-x} \quad (۵)$$

در روابط فوق، m، مجموع جرم قسمت معلق و فنرها، b ضریب میرایی، k ثابت فنر و F_{es} نیروی الکترواستاتیک است که توسط اعمال ولتاژ بر روی انگشتان درایو شانه ایجاد می شود. همچنین U نیروی الکترواستاتیک، V ولتاژ اعمال شده، C_1 و C_2 ظرفیت خازنی سمت چپ و راست شانه ها می باشند. A مساحت سطح مقطع هر شانه، ε_0 ثابت دی الکتریک هوا، n تعداد انگشتان درایو شانه، g_{Comb} فاصله بین دو شانه ثابت و x فاصله میان قسمت محرک و درایو شانه است. شبیه سازی ساختار MOEMS در محیط Comsol انجام شده است، و مقادیر این پارامترها بصورت جدول ۱ در نظر گرفته شده اند. قسمت نوری ساختار در محیط Lumerical شبیه سازی شده است.

جدول ۱: تعدادی ازپارامترهای هندسی و فیزیکی محرک MOEMS

علائم	پارامتر	مقدار
$L\times W$	طول و عرض جرم معلق	۱۷۰×۷۰ میکرومتر
$l\times b$	طول عرض سوراخ های هوایی	۳×۳ میکرومتر
t	ارتفاع آیینه DBR	۱۰ میکرومتر
L_{Comb}	طول درایو شانه	۲۶ میکرومتر
W_{Comb}	عرض درایو شانه	۱ میکرومتر
g_{Comb}	شکاف بین انگشتان شانه	۳ میکرومتر
N_{Comb}	تعداد درایو های شانه	۳۸ جفت

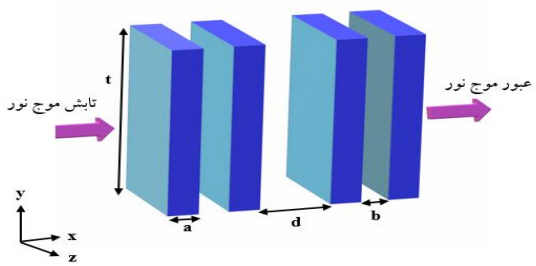
طراحی و شبیه سازی فیلتر تنظیم پذیر

ساختار شکل ۱ در محیط Solid Work ترسیم شد و سپس در محیط Comsol با اعمال ولتاژ میزان جابجایی جرم معلق

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

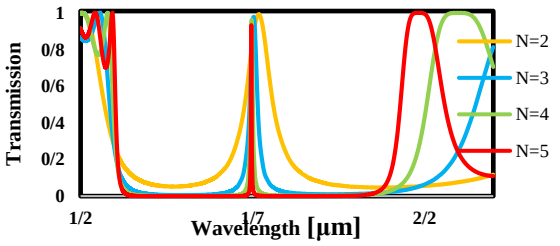
[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

محاسبه گردید. ابعاد ساختار که طبق جدول ۱ مقادیرش انتخاب شده بودند، جابجایی خطی در مقابل اعمال ولتاژ از خود نشان می دهد. سپس برای انتخاب مناسب تعداد لایه های ایینه های DBR ساختار مورد نظر طبق شکل ۳ در محیط نرم‌افزارLumerical FDTD شبیه سازی گردید.



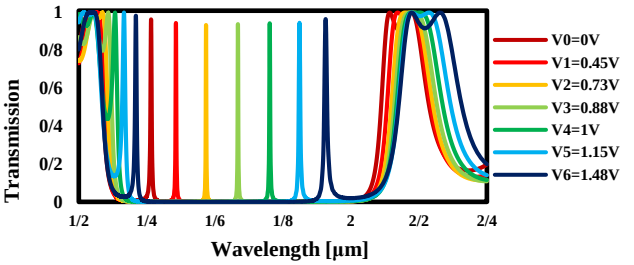
شکل ۳: شماتیک ساختار فتونیک کریستال یک بعدی. ارتفاع آیینه های DBR برابر 10μm، ضخامت هر لایه، a و فاصله بین شان، b هر دو برابر 0.25μm و d فاصله‌ی DBR ها از هم.

تابع انتقال یا طیف عبوری این ساختار برای یک طول کاواک ثابت به ازای تعداد لایه های مختلف بدست آورده شد.



شکل ۴: مقایسه طیف های عبور با افزایش N تعداد لایه ها.

آینه های DBR شبیه سازی شده از تعداد N لایه متناوب با ضریب شکست هایn_H=2.1 و n_L=1 تشکیل شده اند. نشان می دهد. مطابق شکل ۵ هرچه تعداد لایه ها بیشتر می شود تابع عبور یا انتقال در طول موج مرکزی باریکتر یا نازکتر می شود. البته با افزایش بیشتر تعداد لایه های DBR دامنه در طول موج مرکزی شروع به کاهش می گذارد. با ترکیب نتایج شبیه سازی در محیط Comsol با محیط Lumerical، می توان تغییر ماکزیمم تابع عبور با ولتاژ اعمالی به ساختار را بدست آورد. تعداد لایه ها را ۵ انتخاب کرده و تابع عبور به ازای اعمال ولتاژ 0^v تا 1.5^v در شکل۵ آورده شده است.



شکل ۵: طیف های عبوری به ازاء ولتاژهای مختلف

نتیجه گیری

طراحی قسمت DBR فیلتر فابری پرو یک عامل مهم در طیف خروجی است به گونه‌ای که اگر ضخامت و تعداد آینه هایDBR بدرستی انتخاب نشوند، طیف عبوری باریک و FWHM کوچک نخواهیم داشت. در این تحقیق در محدوده 1400nm تا 1920nm پارامترهای FSR=885nm، FWHM=4nm و Finesse=221.25 و محدوده‌ی تنظیم پذیری ۵۲۰ نانومتر بدست آمد.

مراجع

[1] G. Langfelder, and et al, “Z-axis magnetometers for MEMS inertial measurement units using an industrial process,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 9, pp. 3983–3990, 2013.

[2] D. K. Shaeffer, “MEMS inertial sensors: A tutorial overview,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 4, pp. 100–109, 2013.

[3] M. T.K. Hou, and et al, “In-plane rotary comb-drive actuator for a variable optical attenuator,” *J. Micro/Nanolithography, MEMS, MOEMS*, vol. 7, no. 4, p. 43015, 2008.

[4] S. S. Yun, K. W. Jo, and J. H. Lee, “Crystalline Si-based in-plane tunable Fabry-Perot filter with wide tunable range,” in *2003 IEEE/LEOS International Conference on Optical MEMS*, 2003, pp. 77–78.

[5] C. A. Barrios, and et al, “Compact silicon tunable Fabry-Perot resonator with low power consumption,” *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 16, no. 2, pp. 506–508, 2004.

[6] M. W. Pruessner, T. H. Stievater, and W. S. Rabinovich, “In-plane microelectromechanical resonator with integrated Fabry–Pérot cavity,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 92, no. 8, p. 81101, 2008.

[7] R. St-Gelais, and et al, “All-silicon integrated Fabry-Ṕrot cavity for volume refractive index measurement in microfluidic systems,” *Appl. Phys. Lett.*, vol. 94, no. 24, pp. 92–95, 2009.

[8] J.-H. Liao, W. Wang, C.-J. Chen, C.-J. Yu, and M.-C. Wu, “Design and fabrication of large-area tunable MOEMS-based shortwave infrared Fabry-Pérot filters,” J. Vac. Sci. Technol. B, vol. 37, no. 3, p. 032002, 2019.

[9] C. Levallois et al., “Liquid crystal-based tunable photodetector operating in the telecom C-band,” Opt. Express, vol. 26, no. 20, p. 25952, 2018.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]