همایش نانوفوتونیک ایران ۱۳۹۹- ۱ و ۲ آبان
Iranian Nano-Photonic Conference 2020
October 23 and 24

طراحی میکرو حسگر فشار بر پایه دو تشدیدگر حلقوی آبشاری

عباس کلاته سیفری، مهدی بهادران*، غلامرضا هنر آسا

گروه فیزیک، دانشکده علوم دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

چکیده: یک میکرو حسگر سیلیکونی بر پایه تشدیدگر حلقوی دو طبقه برای اندازه‌گیری فشار طراحی شد که بر روی یک دیافراگم مستطیلی شکل از سیلیکون-سیلیکا قرار گرفته است. میزان خمیدگی و جابجایی مکانی دیافراگم در اثر فشار ثابت وارد بر دیافراگم و پاسخ طول موجی حسگر به ترتیب با استفاده از روش المان محدود و روش تاخیر خط سیگنال شبیه سازی شدند. حسگر طراحی شده دارای حساسیت ۴۱pm/kPa است که نسبت به دیگر حسگر های فشار بر پایه نور دارای حساسیت قابل توجهی است.

کلید واژگان: حسگر فشار،میکرو تشدیدگر حلقوی،تشدیدگر آبشاری دو طبقه

Design of micro optical pressure sensor using cascaded ring resonator

Abbas Kalate Seyfari, Mahdi Bahadoran* and Gholamreza Honarasa

Department of Physics, Shiraz University of Technology, 31371555, Shiraz, Fars, Iran.

Abstract- A micro-size pressure sensor is designed using the cascaded ring resonator. The sensor consisted of two ring resonator of silicon core waveguide on the silica substrate that placed on the rectangular silicon-diaphragm. The deflection and displacement of diaphragm under the applied pressure is calculated using finite element method. The wavelength response of the sensor is simulated using the delay line signal approach. The sensitivity of 41pm/kPa is achieved for the proposed sensor that is quite higher sensitivity rather than the conventional optical-based pressure sensors.

Keywords: pressure sensor, cascaded ring resonator,double stage microring

* bahadoran@sutech.ac.ir

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04]

۱-مقدمه

حسگرهای فشار بر پایه نور معمولاً با بکارگیری فیبر نوری ،تداخل سنج فابری-پروت(Fabry-Perot) ،تداخل سنج ماخ-زندر و تشدیدگر حلقوی طراحی می‌شوند[۱]. برتری‌های استفاده از حسگر بر پایه میکروحلقه نسبت به دیگر حسگرهای نور در خروجی خطی ،امکان تولید دستگاه حسگر در اندازه میکرو،دست یابی به حساسیت بالا ، امکان ساخت با استفاده از سیلیکون استاندارد است. در عمل ،میکروحسگر فشار نوری بر اساس مدهای گالری نجوا (WGM) طراحی شده است[۲]. موجبر سیلیکون بر روی عایق (SOI) به عنوان یک مبدل نوری مناسب در کاربردهای حسگری شناخته شده است. اختلاف ضریب شکست بالا SOI امکان سنجش چند برابر در یک تراشه را فراهم می‌کند و ساخت حسگرهای بسیار کوچک را امکان پذیر می‌کند. در حسگر های آبشاری مبتنی بر میکرو حلقه ،تغییر کمی در شعاع حلقه منجر به تغییر طول موج در قله های تشدید می‌شود که اندازه‌گیری دقیق در کاربردهای حسگری را فراهم می‌کند.

۲-اصول تئوری حسگر فشار مبتنی بر تشدید گر حلقوی

مطابق شکل ۱-الف، حسگر فشار شامل دو میکروتشدیدگر حلقوی از موجبری با مغزی سیلیکونی و زیرلایه ای از سیلیکا که روی دیافراگم انعطاف‌پذیر سیلیکونی قرار داده شده تشکیل می‌شود. اعمال فشار خارجی بر حلقه باعث کشش دیافراگم در جهت شعاع حلقه و جابجایی دیافراگم در جهت عمود بر حلقه می‌شود. فشار به وسیله‌ی یک گیره‌ی مکانیکی که نمونه را در موقعیت خودش ثابت نگه می‌دارد با ایجاد خلا اعمال می‌شود. اختلاف فشار با تغییر حجم توسط پیستون مدار فشار ایجاد می شود که یک انتهای آن توسط غشای تراشه حسگر بسته شده است[3]. رابطه بین فشار اعمال شده در میکروحلقه ،P و تغییر طول موجبر قسمت حسگری، ΔL ،به صورت $P = (Y_o / L_0).\ \Delta L$ است که در آن Y_0 مدول یانگ مواد حلقه، L_0 طول اولیه‌ی تشدیدگر قبل از تغییر شکل دیافراگم را نشان می‌دهد. جابجایی دیافراگم مستطیلی در جهت x و y را می توان به ترتیب توسط $U_x = -z\ \partial W / \partial x$ و $U_y = -z\ \partial W / \partial y$ محاسبه کرد. تابع انتقال نوری در گذرگاه دراپ (Drop port) برای سیستم تشدیدگر حلقوی دو طبقه بر اساس تاخیر خط سیگنال از رابطه زیر بدست می‌آید[4]:

$$OTF^{drp} = \left|\frac{E_{drp}}{E_{in}}\right| = \frac{-i\sqrt{\Gamma_1\Gamma_2\Gamma_3 k_1 k_2 k_3}\sqrt{\xi_1^{N1}\xi_2^{N2}}}{\{1-\sqrt{\Gamma_1\Gamma_2\eta_1\eta_2}\ \xi_1^{N1}-\sqrt{\Gamma_2\Gamma_3\eta_2\eta_3}\ \xi_2^{N2}+\Gamma_2\sqrt{\Gamma_1\Gamma_3\eta_1\eta_3}\ \xi_1^{N1}\xi_2^{N2}\}} \tag{1}$$

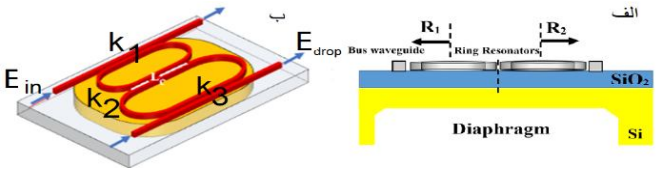
که در آن k ضریب جفت شدگی در هر جفتگر، $\eta = 1-k$ ،میزان اتلاف در هر جفتگر با $\Gamma = 1-\gamma$ نشان داده شده که γ اتلاف جفت شدگی است. پارامتر $\xi_m^N = e^{-0.5\alpha L_m} e^{-i\,2\pi N L_m/\lambda}$ اتلاف در انتشار است که α معرف اتلاف خطی موجبر λ, N, L_m به ترتیب،طول حلقه m ام،عدد مد تشدید حلقهmام و طول موج نور ورودی هستند.

۳-نتایج و شبیه سازی:

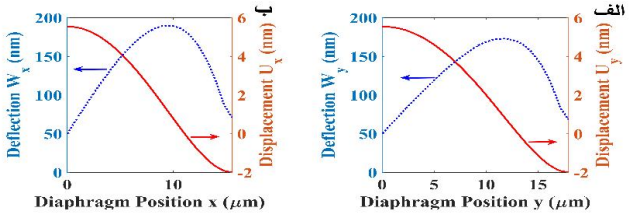
در شبیه سازی دیافراگم سیلیکونی به ارتفاع ۱۵۰ nm ،ضریب پواسون υ_{Si}= 0.22 و ثابت یانگ Y_{Si} = 160Gpa [5] و زیر لایه ای از سیلیکا به ارتفاع ۱۵۰ nm ،ضریب پواسون υ_{SiO2} = 0.165 و Y_{SiO2} = 72.5 Gpa [6] استفاده شد. میکرو تشدیدگری زمین دو میدانی مانند با سطح مقطع ۴۵۰×۲۲۰ nm^2 از جنس سیلیکون با شعاع‌های 4.225 µm و 6.545 µm ،طول جفتگر Lc=15 µm بر اساس داده های تجربی موجود در [7] انتخاب شد. مطابق شکل ۲،با اعمال فشار ثابت ۳۰ Kpa به دیافراگم مستطیلی شکل،دیافراگم دچار خمیدگی برابر با ۱۸۸ nm در دو راستای x,y میشود. بر اساس شبیه‌سازی به روش المان محدود در نرم افزار MATLAB و با استفاده از شرایط مرزی دیریکله با لبه‌های ثابت و u=0 در مرزها،حداکثر جابجایی مرکز دیافراگم در راستای x و y به ترتیب برابر با ۵.۶ nm و ۴.۹ nm است.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04]

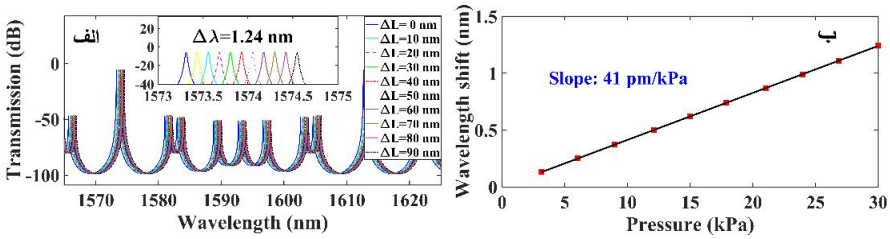


شکل۱: نمای کلی از حسگر فشار بر پایه تشدیدگر حلقوی الف) پیکر بندی موجبری ب) نمای حلقه سیلیکونی روی دیافراگم مستطیلی



شکل۲: جابجایی(قرمز رنگ) و خمیدگی (آبی رنگ) مرکز دیافراگم مستطیلی شکل الف) تغییرات در راستای y ب) تغییرات در راستای x

برای مجموعه قدرت جفت‌شدگی(k_1,k_2,k_3)=(0.01,0.002,0.001) و اتلاف جفتگری $(\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3)$=(0.01,0.005,0.001) خروجی نور از حسگر به صورت شکل ۳-الف بدست آمد. برای تغییر طولی مسیر نوری برابر با ۹۰nm به جابجایی طیفی برابر با ۱٫۲۴nm در ناحیه طول‌موجی1573nm دست یافتیم. حساسیت (s) به صورت نسبت جابجایی طیفی($\Delta\lambda$) به تغییرات فشار(ΔP)، $s = \Delta\lambda / \Delta P$،تعریف می‌شود. خط حسگری فشار برای این تغییرات متناسب با 41pm/kPa است(شکل ۳-ب). این حساسیت از حساسیت 1.47 pm/kPa که توسط سیستم تک حلقه در[4] بدست آمده و همچنین از حساسیت 4.04 pm/kPa گزارش شده از سیستم آبشاری فابری-پروت در [8]، بسیار بالاتر است.



شکل۳: الف) جابجایی طول موجی برای تغییر طول موجبر از صفر تا ۹۰ نانومتر. ب) خط حسگری سنسور فشار

نتیجه گیری:

دو میکرو تشدیدگر سیلیکونی با شعاع‌های مختلف که بر روی یک دیافراگم مستطیلی شکل از سیلیکون-سیلیکا قرار داده شده برای کاربرد حسگری استفاده شد. نتایج بر اساس میزان خمیدگی و جابجایی دیافراگم و تغییرات قله تشدید در عبور نور از سیستم به حساسیت 41pm/kPa برای محدوده 0-30 kPa منجر شد.

مراجع:

1. Zhao, X. *et al.* ***Opt Express*** **20**, 8535-8542.(۲۰۱۲)
2. Ioppolo, T. & Ötügen, M. V. ***JOSA B*** **24**, 2721-2726.(۲۰۰۷)
۳. Hallynck, E. *et. al.* ***IEEE Photonics Journal*** **4**, 443-450 (2012).
٤. Bahadoran, M. *et al.* ***Measurement*** **58**, 215-220.(۲۰۱٤)
٥. Hopcroft, *et. al.* ***Journal of microelectromechanical systems*** **19**, 229-238.(۲۰۱۰)
٦. Osório, J. H., *et. al.* ***Sci Rep-Uk*** **7**, 1-9.(۲۰۱۷)
۷. Boeck, R., *et. al.* ***Opt Express*** **18**, 25151-25157.(۲۰۱۰)
۸. Li, Z. *et. al.* ***IEEE Photonics Journal*** **11**, 1-10.(۲۰۱۸)

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-04]