



پژوهشکده لیزر و پلاسما

اولین کنفرانس ملی حسگرهای فیبر نوری - ۶ آبان ۱۴۰۰

ICOFS 2021

1<sup>st</sup> Iranian Conference on Optical Fiber Sensors

October 28, 2021



## حسگر گازی ضریب شکست بر پایه تشدید فانو ناشی از حفره در موجبر اتوبوسی یک میکرو تشدیدگر حلقوی

زهرا رسولی عمادی<sup>۱</sup>، مهدی بهادران<sup>۱\*</sup> و غلامرضا هنر آسا

<sup>۱</sup> دانشکده فیزیک شیراز-دانشگاه صنعتی شیراز-فارس-ایران

**چکیده:** با ایجاد دو حفره استوانه ای درون موجبر اتوبوسی متصل به یک تشدیدگر حلقوی، همزمان سه نوع قله تشدید شامل تشدید لورنتسی، تشدید فانو و تشدید شفافیت ناشی از الکترومغناطیس ایجاد شد. سیستم مورد نظر را به عنوان حسگر گازی مورد بررسی قرار گرفت و برای هر سه نوع قله تشدید حساسیت و فاکتور کیفیت بدست آمد. شیبه سازی ها به کمک روش تفاضل محدود حوزه زمان انجام شد. پیکر بندی پیشنهاد شده منجر به گستره آزاد طیفی برابر با nm ۹۹ شد. در بین قله های تشدیدهای مختلف، بالاترین فاکتور کیفیت ۳۷۰۴ و ۲۵۳۵ به ترتیب مربوط به تشدید شفافیت ناشی از الکترومغناطیس و تشدید فانو بدست آمد که در مقایسه با تشدیدگرهای تک حلقه گزارش شده فاکتور کیفیت بالایی است.

**کلید واژگان:** تشدید گر حلقوی دو حفره ای، حسگر نوری، حسگر گازی، روش تفاضل محدود حوزه زمان

### Refractive index gas sensor based on fano resonance induced by air holes in the bus-waveguide of a microring resonator

Zahra Rasuli Emadi<sup>1</sup>, Mahdi Bahadoran<sup>1\*</sup>, Gholamreza Honarasa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Physics, Shiraz University of Technology, 31371555, Shiraz, Fars, Iran.

**Abstract-** Applying two cylindrical holes on the bus-waveguide that jointed to the single ring resonator brings about realizing of three different types of resonance peaks including Lorentzian, Fano and electromagnetically induced transparency (EIT). The system was used as gas sensor and the sensitivity and quality factor were determined for all three types of resonant peaks. Results simulated using finite difference time domain method. A free spectral range as wide as 99 nm was realized by the proposed layout. Amongst all types of the realized resonances, the EIT and Fano resonances have the highest quality factor of 3074 and 2535, respectively that are higher than those of reported for the conventional single ring resonators.

**Keywords:** two-Air-hole ring resonator, Optical sensor, Finite difference time domain, Gas sensor

\* bahadoran@sutech.ac.ir

۱- مقدمه

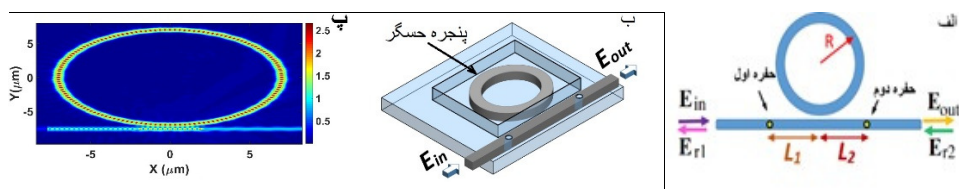
۱. میکرو تشدیدگرهای حلقوی از یک موجبر حلقوی در کنار یک موجبر اتوبوسی تشکیل می شوند که به صورت گسترده در اتصالات فوتونیک بر روی تراشه، اپتیک غیرخطی، و حسگرها کاربرد دارد [۱]. خروجی نور از میکرو تشدیدگرهای حلقوی بصورت قله های تشدید لورنتسی شکل و متقارن با فاکتور کیفیت بالا است. قله های تشدید دارای عدم تقارن به تشدید فانو معروف هستند که دارای قله تشدید با پهنای کمتر نسبت به قله های تشدید لورنتسی هستند در نتیجه قادر به ایجاد فاکتور کیفیت بالاتری هستند. روشهای مختلفی برای ایجاد تشدید فانو از تشدیدگر حلقوی ارایه شده است که شامل قرار دادن یک تشدیدگر حلقوی در نزدیکی یکی از بازوهای تداخل سنج ماخ-زندر، چیدمانی از میکرو تشدیدگرهای حلقوی متعدد در فاصله معین از یکدیگر بین دو موجبر اتوبوسی [۲] و ایجاد ستونهایی متعدد از تشدیدگرهای حلقوی چند طبقه در کنار یک موجبر [۳] می شود. عیب مشترک این روشها بزرگ شدن ابعاد سیستم است. در این مقاله با ایجاد دو حفره بر روی موجبر اتوبوسی متصل به یک تشدیدگر حلقوی، همزمان سه نوع قله تشدید ایجاد شد و از تشدید های فانو و شفافیت ناشی از الکترومغناطیس برای دست یابی به یک حسگر ضریب شکست با فاکتور کیفیت بالا استفاده شد.

۲- پیکربندی حسگر بر پایه تشدیدگر حلقوی متصل به موجبر اتوبوسی دو حفره ای

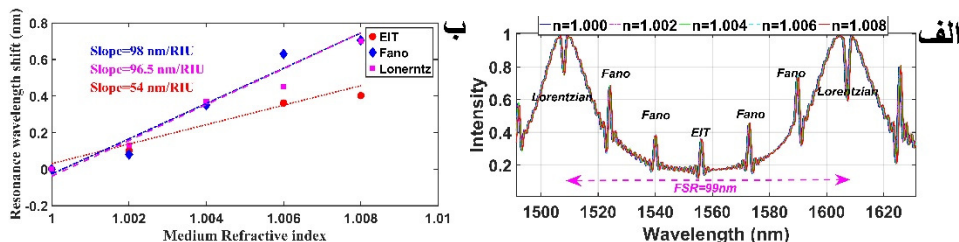
پیکربندی حسگر بر پایه تشدیدگر حلقوی با موجبر حفره دار در شکل ۱ نشان داده شده است. مغزی موجبر از جنس سیلیکون و زیر لایه از جنس سیلیکا است. شعاع قسمت حلقوی R، شعاع هر حفره r، فاصله بین حفره ها Ln است. برای محاسبه تابع انتقال نوری از روش ماتریس پراکندگی استفاده شد. مطابق شکل ۱-ب اگر دامنه پرتوهای ورودی و خروجی به ترتیب  $E_{in}$ ,  $E_{out}$  باشد به کمک ماتریسهای انتقال نسبت دامنه میدانهای ورودی به خروجی از رابطه زیر بدست می آید [۴]

$$\frac{E_{out}}{E_{in}} = \frac{(1 - r_{\%}^2) \cdot OTF \cdot e^{ikn_g(L_1+L_2)}}{1 - r_{\%}^2 \cdot OTF \cdot e^{i2kn_g(L_1+L_2)}} \quad (1)$$

که  $r_{\%}$  نشان دهنده درصد بازتابش نور از حفره،  $OTF$  تابع انتقال نوری تشدیدگر حلقوی،  $k$  عدد موج،  $ng$  ضریب شکست گروه و  $Ln(n=1,2)$  فاصله هر حفره تا ناحیه مرکزجفتگر است. در شبیه سازی شعاع تشدیدگر حلقوی برابر با  $R=7\mu m$ ، پهنا  $500nm$  ارتفاع موجبر  $220nm$ ، شعاع حفرهها  $r=180nm$ ، فاصله بین حفره ها  $2\mu m$ ، فاصله جفت شدگی موجبر تا تشدیدگر  $100nm$  است. پیکربندی حسگر در شکل ۱ نمایش داده شده. در عمل نور ورودی به سامانه باید شرایط تشدید را ارضا کند و امکان انتشار از موجبرها توسط ایجاد مد الکتریکی عرضی فراهم میشود. نمودار انتشار شدت میدان الکتریکی درون موجبر سیستم در شکل ۱-پ نشان داده شده است.



شکل ۱- الف) نمای کلی از سامانه تشدیدگر حلقوی با دو حفره در موجبر اتوبوسی ب) پیکربندی حسگری سامانه پ) نمودار انتشار شدت میدان الکتریکی



شکل ۲- الف) شدت میدان بر حسب طول موج برای تشدیدگر حفره دار با زمینه هوا (نقطه چین آبی) و چهار گاز با ضریب شکستهای ۱,۰۰۲ تا ۱,۰۰۸ با نرخ تغییر ۰,۰۰۲ (ب) خطوط حسگری برای تشدیدگر حفره دارو

مطابق شکل ۲- الف پیکربندی ارائه شده همزمان میتواند سه تشدید مختلف لورنتسی  $L$ ، تشدید فانو  $Fano$  و تشدید شفافیت ناشی از الکترومغناطیس EIT ایجاد کند. قله های تشدید فانو و EIT دارای پهنای باند کوچکتری نسبت به قله های تشدید تشدیدگر معمولی هستند و امکان دستیابی به فاکتور کیفیت بالاتر برای کاربردهای حسگری و فیلتری را مهیا میکنند. در شکل ۲، پاسخ طیفی شدت میدان سیستم برای پنج گاز مختلف با ضریب شکستهای ۱,۰۰۸ تا ۱,۰۰۲ با نرخ تغییر ۰,۰۰۲ شبیه سازی شده است. پهنای باند برای تشدیدهای لورنتسی  $L$ ، فانو  $Fano$  و شفافیت ناشی از الکترومغناطیس EIT به ترتیب  $23.8\text{nm}$ ،  $1.21\text{nm}$  و  $0.42\text{nm}$  بدست آمده است. مطابق شکل ۲- ب، با در نظر گرفتن قله های لورنتسی، فانو و شفافیت الکترومغناطیسی حساسیت به ترتیب  $98\text{nm/RIU}$ ،  $96.6\text{nm/RIU}$  و  $54\text{nm/RIU}$  است ولی با توجه به پهنای باند، فاکتورهای کیفیت  $۲۵۳۵$ ،  $۳۷۰۴$  و  $۶۸$  به ترتیب برای تشدیدهای شفافیت الکترومغناطیسی، فانو و لورنتسی بدست می آید. در مقایسه با ابزارهای نوری بر پایه تشدیدگر حلقوی، پیکربندی مورد بررسی در این مطالعه نسبت به سیستمی از آرایه نانو ذرات اعمالی روی تشدیدگر حلقوی با فاکتور کیفیت  $۲۰,۹$  [۵]، تشدیدگر چند کانال فلزی با فاکتور کیفیت  $۸۲,۱$  [۶] و تشدیدگرهای آبخاری سری شده با فاکتور کیفیت  $۳۲۱$  [۷] دارای فاکتور کیفیت بسیار بالاتری است.

**نتیجه گیری:** با در نظر گرفتن دو حفره متقارن درون موجبر اتوبوسی متصل به یک تشدیدگر حلقوی امکان دستیابی همزمان به سه نوع قله تشدید لورنتسی، فانو و شفافیت ناشی از الکترومغناطیس فراهم شد. از تشدید فانو و شفافیت ناشی از الکترومغناطیس ایجاد شده در رسیدن به حسگری گازی با حساسیت  $۹۸\text{nm/RIU}$  و فاکتور کیفیت  $۳۷۰۴$  استفاده شد که در مقایسه با تشدیدگرهای حلقوی گزارش شده دارای فاکتور کیفیت بالایی است.

## مراجع

1. P. Sanati, *et al.* **The European Physical Journal Plus** **135** 869 (2020).
2. M. Mancinelli, *et al.* **Optics express** **19** 12227-12240 (2011).
3. S. Darmawan, *et al.* **Optics express** **13** 4580-4588 (2005).
4. L. Gu, *et al.* **Nanophotonics** **8** 841-848 (2019).
5. M. Butt, *et al.*, **Optik** **202** 163655(2020).
6. M. Butt, *et al.*, **Laser Physics Letters** **16** 126201(2019).
7. M. Butt, *et al.*, **Laser Physics** **29** 046208(2019).