اولین کنفرانس ملی حسگرهای فیبرنوری- ۶ آبان ۱۴۰۰
ICOFS 2021
1st Iranian Conference on Optical Fiber Sensors
October 28, 2021
پژوهشکده لیزر و پلاسما

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

زهرا رسولی عمادی[۱] ، مهدی بهادران[۱*] و غلامرضا هنر آسا

[۱] 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 تشدیدشفافیت 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. شبیه 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 تشدیدشفافیت 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[1], Mahdi Bahadoran[1*], Gholamreza Honarasa[1]

1 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

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-23]

۱- مقدمه

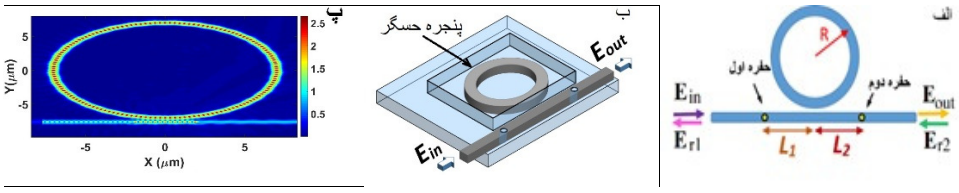
۱. میکرو تشدیدگرهای حلقوی از یک موجبر حلقوی در کنار یک موجبر اتوبوسی تشکیل می شوند که به صورت گسترده در اتصالات فوتونیکی بر روی تراشه، اپتیک غیرخطی، و حسگرها کاربرد دارد[۱]. خروجی نور از میکرو تشدیدگرهای حلقوی بصورت قله های تشدید لورنتسی شکل و متقارن با فاکتور کیفیت بالا است. قله های تشدید دارای عدم 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 موجبرحفره 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 *Eout* ,*Ein* باشد به کمک ماتریسهای انتقال نسبت دامنه میدانهای ورودی به خروجی از رابطه زیر بدست می آید [۴]

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

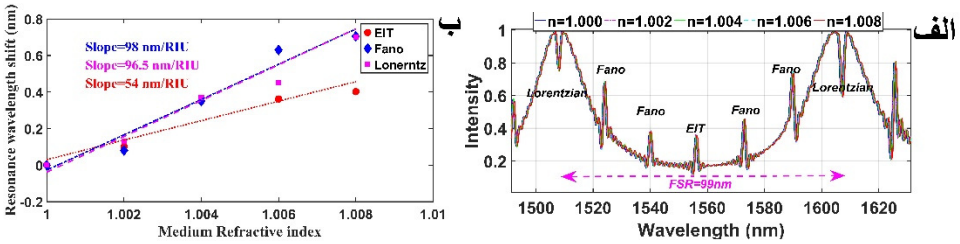
که $r_{\%}$ نشان دهنده درصد بازتابش نور از حفره ، *OTF* تابع انتقال نوری تشدیدگر حلقوی، *k* عدد موج، *ng* ضریب شکست گروه و *Ln*(n=1,2) فاصله هر حفره تا ناحیه مرکزجفتگر است. در شبیه سازی شعاع تشدیدگر حلقوی برابر با R=7μm ،پهنا 500nm ارتفاع موجبر220nm ، شعاع حفرهاr=180 nm، فاصله بین حفره ها 2μm، فاصله جفت شدگی موجبر تا تشدیدگر100nm 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 تشدید گر حلقوی با دو حفره در موجبر اتوبوسی ب) پیکربندی حسگری سامانه پ) نمودار انتشار شدت میدان الکتریکی

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-23]



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 ۱,۰۰۲تا۱,۰۰۸با نرخ تغییر ۰,۰۰۲ب) خطوط حسگری برای تشدیدگر حفره دارو

مطابق شکل ۲-الف پیکربندی ارایه شده همزمان میتواند سه تشدید مختلف لورنتسیL ، تشدید فانوfano و تشدید شفافیت ناشی از الکترومغناطیسEIT 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 ۱تا ۱,۰۰۸ با نرخ تغییر ۰,۰۰۲ شبیه سازی شده است. پهنای باند برای تشدیدهای لورنتسیL ، فانوfano و شفافیت ناشی از الکترومغناطیسEIT به ترتیب , 23.8nm, 1.21nm و0.42 nm بدست آمده است. مطابق شکل ۲-ب، با درنظر گرفتن قله های لورنتسی، فانو و شفافیت الکترومغناطیسی حساسیت به ترتیب 98nm/RIU ، 96.6nm/RIU و 54nm/RIU است ولی با توجه به پهنای باند، فاکتورهای کیفیت۳۷۰۴، ۲۵۳۵ 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 با فاکتور کیفیت ۸۲,۱ [۶]و تشدیدگرهای آبشاری 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 حساسیتnm/RIU ۹۸و فاکتور کیفیت۳۷۰۴ 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).

این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت http://opsi.ir/ قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2025-12-23]