چهاردهمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران

دانشگاه وليعصر (عج) رفسنجان، ۹ تا ۱۱ بهمن ماه ۱۳۸۶ 14th Conference on Optics and Photonics Rafsanjan Vali-e-Asr University, 29-31 January 2008





ارائه یک مدل همگن برای لیزرمیکروکرهای آغشته به اربیم باپس خوران بیرونی

راضیه تقی آبادی⁽²⁾ ، محمد واحدی⁽¹⁾ ، شهرام کیوانی نیا^(۱) و علیرضا بهرام پور ^(۲۹۳) دانشگاه صنعتی شریف^(۱) ، دانشگاه ولی عصر رفسنجان^(۲)

چکیده – از نزدیک شدن لیزر میکرو کره ای آغشته به اربیم به یک آینه خارجی به علت ایجاد تقارن آینه ای مودهای جدید زوج و فرد شکل می گیرند بسته به فاصله آینه از کره فرکانس تشدید این مودها از مود متناظرشان در عدم حضور آینه تغییر مییابد.فرکانس تشدید مود زوج به سمت قرمز و فرکانس مود فرد به سمت آبی تغییر مینماید.در این مقاله یک مدل لیزر همگن برای محاسبه فرکانس تشدید مودهای زوج و فرد و شرط نوسان هر کدام از آنها ارائه شده است.

> کلید واژه- لیزر میکروکره ای،لیزر .Er ،میکرو کره،میکروتشدیدگر کد ۱۴۰-۱۴۰- PACS

۱– مقدمه

میکرو مشدد های عایق به لحاظ کاربری وسیعشان در مدارهای انتگره نوری در دو دهه گذشته مورد توجه ویژه قرار گرفته اند[۱]-[۲].از آنجا که بر همکنش میکرو مشددهای عایق بخصوص میکرو کره ها با محیط اطرافشان چشم گیر است بعنوان حسگرهای شیمیائی وبیولوژی مورد تجزیه وتحلیل و استفاده واقع شده اند[۳]-[۴].

از آنجا که فاکتور مرغوبیت میکرو کره ها و میکرو تورئید ها در میان سایر میکرو مشددهای عایق از مرتبه فوق العاده بالائی(۱۰^{۱۱}-۱۰^۹)بر خوردار است [۵] از میکرو کره ها و میکروتروئید ها لیزرهای با توان تحریک آستانه نوسان فوق العاده پائین طراحی وساخته وارائه شده است [۶]-[۷].

بخشی از نور متناظر با مودهای تشدیدی میکرو مشددهای عایق در خارج از میکرو مشددها حضور دارند.بنابراین تحت تأثیر عوامل محیطی از قبیل ضریب شکست و جذب محیط اطراف قرار می گیرد.تغییر ضریب شکست و جذب محیط اطراف به ترتیب باعث تغییر فرکانس تشدید و و فاکتور مرغوبیت میکرو مشددها می شود.در صورتی که از میکرو مشددها لیزر ساخته شود تغییرات مذکور باعث تغییر در فرکانس لیزر و توان خروجی آن می گردد.برای افزایش

حساسیت از پس خوران بیرونی استفاده شده است[۸].بدین ترتیب که با گذاشتن یک آینه بیرونی در مقابل میکرو کره مد های جدیدی برای میکرو کره ایجاد می شود.مود های جدید تولید شده بعلت پس خوران از آینه بیشتر از مودهای ذاتی میکرو کرہ تحت تاثیر عوامل بیرونی می باشند.بنا براین اثر عوامل محیطی با دقت بیشتری قابل اندازه گیری می باشند.در این مقاله یک مدل ماتریسی برای محاسبه فركانس تشديد و فاكتور مرغوبيت مدهاى جديد ارائه شده است.سپس با نوشتن معادلات آهنگ شرایط نوسان لیزر میکره کره ای آغشته به اربیم و بستگی توان خروجی آن به عوامل محيطى ارائه شده است.در بخش دوم اين مقاله محاسبه فركانس تشديد ميكرو كره واقع در نزديكي آينه آمده وبخش سوم معادلات آهنگ برای میکره کره آغشته به اربيم بدون اثرات غير همكن نوشته شده است بخش چهارم محاسبات عددى ارائه و با نتايج تجربى منتشر شده مقايسه شده اند وبالاخره مقاله با یک نتیجه گیری به اتمام می ر سد

۱-۱ مدل ماتریسی برای محاسبه فرکانس تشدید

برای محاسبه فرکانس تشدید میکروکره همانند سایر تشدید



گرها از معادلات ماکسول آغاز می شود. ابتدا معادله هلمهولتز در مختصات کروی نوشته می شود واز نوشتن شرایط مرزی پیوستگی مؤلفه مماسی میدان الکتریکی و مؤلفه مماسی میدان مغناطیسی در مرز هوا و کره معادله مشخصه بدست می آید [۹].

به علت انحنای میکره کره بخشی از انرژی به صورت تشعشعی از میکرو کره فاصله می گیرد.این پدیده افت خمش نامیده می شود هر چه شعاع انحنای کره کوچکتر وضريب شكست آن كمتر باشد افت خمشى آن بيشتر خواهد بود.البته علاوه بر افت های خمشی افتهای جذبی وپراکندگی وجود دارند که در حالت عادی نسبت به افت خمشى ناچيز مى باشند[١٠].با توجه به فاكتور مرغوبيت (ω_i) بالای میکرو کره بخش موهومی فرکانس تشدید نسبت به بخش حقیقی (ω_r) آن بسیار ناچیزو نسبت آن از مرتبه ۲۰^{۱۰} می باشد.بنابر این بطور معمول با محاسبه فرکانس های تشدید از معادله مشخصه نمی توان قسمت موهومی آن را بدست آورد.بدین جهت از روش های مختلف اختلالی از قبیل روش جریان حجمی ضریب مرغوبیت حساب شده است[۵].البته برای اجتناب از محاسبات عددی نسبتاً طولانی برای محاسبه قسمت حقیقی فرکانس تشدید با استفاده از روش های تقریبی رابطه تقریبی بدست آمده است[11].

از حلِ معادله هلمهولتز توزیع میدانهای الکتریکی ومغناطیسی برای مودهای TM و Tمحاسبه شده است [Δ].مودهای میکروکره مشدد توسط سه عدد صحیح (n,l,m) مشخص می گردند همانند همهٔ مسائل موجی خطی با تقارن کروی بستگی زاویه ای میدان با همانند های کروی (ϕ, ϕ) مشخص می شوندوبستگی شعاعی توسط توابع بسل کروی تعیین می گردند.بخش بیرونی میدان الکترومغناطیسی باعث بر هم کنش میدان با محیط اطرافش می شود.

در صورت قرار دادن آینه در مقابل میکروکره مطابق شکل (۱) با استفاده از روش تصویر می توان مجموعه را معادل دو میکرو کره تزویج شده در نظر گرفت.



شکل(۱):میدان میکرو کره در مقابل یک آینه فلزی

از آنجا که مجموعهٔ جدید نسبت به صفحه y - x تقارن دارد یعنی با تبدیل z به z - در ساختار سیستم تغییری حاصل نمی شود ویژه توابع باید توابع زوج یا فردی از zباشند. یعنی در سیستم مد های جدیدی به سمت قرمز وآبی تشکیل میگردند.با فرض اینکه میکروکره توسط فیبر نوری کشیده شده تحریک شود ویژه مودهای نزدیک دایره عظیمه متناظر با آن تحریک می شوند[۵]و مودهای جدید را مطابق شکل(۲)می توان از بر هم کنش میکروکره وتصویر آن بدست آورد.



شکل(۲)نمایش شماتیکی از انشار مد داخل میکره کره و تصویر آن داخل آینه:

میدانهای داخل میکرو کره وتصویر آن را مطبق شکل(۲) نام گذاری می کنیم و رابطه بین میدان های ورودی x و میدان های خروجی آن y را به شکل زیر می توان بدست آورد.

$$y = \frac{\left[-G_1 G_2 \left(-i\chi_2 + r_2\right)\right) + r_1 \right] x}{1 - r_1 G_1 G_2 \left(-i\chi_2 + r_2\right)} \tag{1}$$

که در آن $\chi_2 \ \chi_2$ به ترتیب ضریب تزویج بین فیبر و میکرو کره،ومیکروکره با تصویر آن می باشد G1و G2 به ترتیب ضریب بهره یا افت مختلط در نیمه حلقه بالائی وپائینی می باشند.

فرکانس های تشدید در محل ماکزیمم و فرکانس های نوسان لیزر در محل قطب های می باشند.از صفر قرار دادن قسمت موهومی قطب ها شرط نوسان لیزر بدست می آید.

$$\omega_e = \frac{2m\pi c}{n_0 L} + \frac{c}{n_0 L} \tan^{-1} \frac{\chi_2}{r_2}$$
(7)

$$\omega_o = \frac{2m\pi c}{n_0 L} - \frac{c}{n_0 L} \tan^{-1} \frac{\chi_2}{r_2}$$
(*)

که در آن L طول دایره عظیمه و $\mathscr{O}_o, \mathscr{O}_e$ به ترتیب فرکانس های زوج و فرد میکروکره،C سرعت نور و m عدد صحیح می باشد.

۲-۱- معادلات آهنگ

از آغشته کردن میکروکره شیشه ای به اربیم وتحریک توسط لیزر باطول موج ۹۸۰ گذار باعث گذار القائی در ناحیه ۱۵۵۰ می گردد.شکل(۳)سطح مقطع گذار القائی اربیم را نمایش میدهد.



شکل (۳):مقطع گذار القائی اربیم بر حسب طول موج

برای محاسبه بهره های G1 و G2 معادلات آهنگ را برای مدل دو ترازی می نویسیم.

$$\frac{d\Delta N}{dt} = \frac{\sigma_p I_p}{\hbar \omega_p} (N - \Delta N) - 2\sigma_s(\Delta N) \frac{I_s}{\hbar \omega_s} - \frac{(N + \Delta N)}{\tau_{21}}$$

$$I_s = \frac{1}{2} \frac$$

$$\Delta N = N_2 - N_1 = \frac{(\frac{\sigma_p I_p}{\hbar \omega_p} - \frac{1}{\tau_{21}})N}{\frac{\sigma_p I_p}{\hbar \omega_p} + 2\sigma_s \frac{I_s}{\hbar \omega_s} + \frac{1}{\tau_{21}}} \quad (\mathcal{F})$$

با توجه به اینکه انرژی مودها در میکرو کره در ناحیه مرزی قرار دارد.شدت لیزر در ناحیه مرزی را تقریباً به شکل یکنواخت در نظر گرفته و معادلات آهنگ تغییرات آن را در جهت انتشار به شکل زیر می نویسیم.

$$\frac{dI_s}{dz} = -\alpha I_s + \sigma_s \Delta N I_s \tag{Y}$$

$$\frac{dI_p}{dz} = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p + \frac{\sigma_p \Delta N}{2} I_p \qquad (\Lambda)$$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p + \frac{\sigma_p \Delta N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p + \frac{\sigma_p \Delta N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p + \frac{\sigma_p \Delta N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p + \frac{\sigma_p \Delta N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p + \frac{\sigma_p \Delta N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p + \frac{\sigma_p \Delta N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p + \frac{\sigma_p \Delta N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p - \frac{\sigma_p N}{2} I_p$
If $z = -\alpha I_p$
If z

۱–۳– نتایج عددی
ببا استفاده از رابط(۱) و ماکزیمم کردن نسبت
$$\left|\frac{y}{x}\right| = \left|\frac{H}{i,j}\right| = \left|\frac{y}{x}\right|$$
 فرکانس های تشدید میکرو کره قرار گرفته
در نزدیکی آینه بدست می آید.تغییرات فرکانس های تشدید
زوج بر حسب ضریب کوپلاژ بین کره وتصویر آن (فاصله از
آینه)در شکل(۴) رسم شده است.



را مساوی صفر قرار میدهیم)از شکل(۷) آستانه تحریک لیزر 1.5578e-06: زر خروجی از ۲,۸ μw 1.5576e-06⁻ 1.5574e-06 رابطه (۲) برابر ۱٫۷ μW رابطه (۲) رابطه می شود.. 1.5572e-06 1.557e-06 ∄1.5568e-06÷ 1.00024 ≹1.5566e-06÷ 1.0002÷ 1.5564e-06 1.0001 1.5562e-06 1.0001 =1.556e-06⁻ 1 0.2 0.8 7 0.4 0.6 0.999950.9999شکل(۴):طول موج تشدید بر حسب ضریب تزویج میکره کره با تصویر 0.99985خودش برای m=212 2e-06 5e-06 7e-06 Ip(W/m^2) از حل معادلات (۷)و(۸) بهره مودهی مجموعه محاسبه و بر حسب شدت پمپ در شکل (۵) و(۶) برای نیمه بالا و پایین شکل(۷):نقطه قطع $rG_1(Ip)G_2(Ip)$ با ۱ نشان دهنده شدت دایره عظیمه رسم شده است. یمپ برای آستانه تحریک است 1.0002 ۲- نتیجهگیری 1.00018 H 1.00016 در این مقاله یک مدل ساده برای محاسبه فرکانس های کار یک لیزر میکره کره ای آغشته به اربیم قرار گرفته در E 1.0001 1.00012 نزدیکی یک آینه ارائه شده است . نتایج حا صل از مدل ماتریسی ارئه شده با نتایج تجربی که قبلا منتشر شده 1.00006-منطبق می باشد.مدل معادلات آهنگ بخوبی مودهای 1.00004 نوسانی لیزر را پیش بینی می نماید. 2e+08 6e+08 pump intensity(W/m^2) سیاسگزاری شکل(۵):بهره مد بر حسب شدت پمپ در نیمه بالای دایره عظیمه 1.0002سپاسگزاری کنید. gain 1.00016-مراجع qma l 1.00012ធី 1.00008 resonance-based electrically reconfigurable add-drop filters in silicon microring 1.00004 resonator-coupledMach-Zehnder interferometers, "Optics Letter, vol.32, 2e-06 4e-06 6e-06 8e-06 pump intensity(W/m^2) Issue7, pp.781-783. شکل(۶):بهره مد بر حسب شدت پمپ در نیمه پایین دایره عظیمه

با استفاده از شرط نوسان (قسمت حقيقي قطب متناظر باآن

درصورت لزوم میتوانید از افراد یا سازمانهائی که شما ۱٫ در انجام پژوهش خود یاری کرده اند در این قسمت

- [1] Linjie Zhou and Andrew W. Poon. "Fano
- [2] Zexuan Qiang, Weidong Zhou, and Richard A. Soref "Optical add-drop filters based on photonic crystal ring

resonators, "**Optics Express**, vol.15, Issue4, pp.1823-1831.

- [3] F.Vollomer, D.Braun, A.Libchaber, M.khoshsima, I.teraoka, and S.Arnold.
 "Portein by optical shift of a resonant microcavity," Applied physics Letters, 80(21):4057-4059, 200.
- [4] Niran Jan M. Hanumegowda, Ian M. white, Xuudong Fun. "Aqueous mercuricion detection with microsphere optical ring resonator sensors," Sensors and Actuators B, 80120(2006)207-212
- [5] B.E.Little, J.p.Laine, and H.A.Haus., "Analytic thory of coupling from tapered fibers and half-blocks in to micro sphere resonators," Journal of Lightwave Technology, 17(4):704-715,1999
- [6] M.cai, opainter, K.J.vahala, and P.C.Sercel "*Fiber-coupled Microsphere laser*," **Optics letters**, 25(19):1430-1432,2000
- [7] Y.Yang, D.KArmani, and K.J.vahla "Fibercoupled Microlaser on a chip," Applied physics Letters,83:825,2003
- [8] Burnki Min, Tobias Kippenberg, Lon Yang, and Kerry Vahala. "Low threshold erbiumimplanted toroidal microcavity laser," Department of Applied Physics, Culifornia Institute of Technology Pasadena. ca91125
- [9] Patric Feron, Carole Arqaud, Mohamed Boustimi, Gualtiero Nunzi-Conti, Giancarlo Righini, and Michel Mortier. "Integrated optics and photonic Integrated circuits," SPIE, Bellingham, WA, 2004), 0277-786X.
- [10] Thesis by Tobias Jan August Kippenberg. "Nonlinear optics in ultra-high-Q whispering-Gallery optical Microcavities." Culifornia Institute of Technology Pasadena, 2004
- [11] .C.C.Lam, P.T.Leung, and K.Young. "Explicit asymptotic formulas for the positions, widths, and strengths of resonances in mie scattering." j.Opt.soc.Am.B,vol.9.no.9/September 1992