

## طراحی و شبیه سازی لیزر کریستال های فتونی سه بعدی

فریبرز پلنگی کارشناس ارشد مهندسی برق (الکترونیک)

مدرس دانشکده مهندسی برق دانشگاه آزاد قهر شیرین

ایمیل : [fariborzpalangii@gmail.com](mailto:fariborzpalangii@gmail.com)

### چکیده :

در این مقاله یک میکرو کاواک کریستال فوتونی بهینه سازی شده با طول موج رزونانس  $1536 \mu\text{m}$  که ساختار پیشنهادی یک لیزر  $1431.88 \mu\text{m}$  QD و این ساختار متشکل از دو حلقه شبه کریستال با هندسه های مختلف برای یک لیزر فموتوانیه با طول موج مطلوب و توان خروجی با ضریب کیفیت بالا که به طور همزمان پایدار است ، بعنوان یک منبع نوری برای مدارهای مجتمع نوری، ارتباطات نوری ، مخابرات، صنعت و پزشکی مورد توجه قرار گرفته می شود. با روش محاسبات تفاضل متناهی در حوزه زمان (FDTD) و بسط امواج مسطح بررسی می شود. این میکرو کاواک شبه کریستال با توان خروجی بالا ، سادگی طراحی، مساحت کم، مورد بررسی قرار گرفته است . نتایج خروجی ها نشان از برتری این طرح نسبت به سایر طرحهای موجود دارد.

کلید واژه : لیزر، کریستال فوتونی، گسیل القایی، همدوس، تک رنگ، طول موج.

### 1- مقدمه :

یکی از ادوات اپتیکی مهم که در سال های اخیر بسیار مورد استفاده قرار گرفته است لیزر می باشد، لیزرها سه مولفه اساسی دارند.(الف): یک رسانای فعال به شکل یک میله که می تواند به صورت انتخابی جمعیت انرژی سطح را مشخص می کند.(ب): پمپ انرژی برای ایجاد وارونگی جمعیتی بین برخی از سطوح. (پ): یک حفره تشدید کننده که امواج ساطع شده را جمع می کند و با حفظ انسجام امواج راساع می کند.[1]

لیزرهای نقطه کوانتومی ، یکی از لیزرهای نیمه رسانا هستند در واقع نقاط کوانتومی با تحریک الکتریکی یا توسط گسترده وسیعی از طول موج ها در فرکانس های کاملاً مشخص به فلوئورسانس می پردازند، به این شکل فرکانسی از نور را جذب کرده و در فرکانس مشخص (که تابع اندازه آنهاست) به نشر نور می پردازند این ذرات همچنین می توانند بر حسب ولتاژ اعمال شده به انعکاس، شکست یا جذب نور پردازند.[2].

برای تعیین توزیع و ضریب میکرو کاواک ، توزیع میدان در حوزه زمان از روش FDTD استفاده می شود. [3]

در حفره های بافاکتور کیفیت بالا، کاهش میدان های الکترومغناطیس در زمان بنابراین فاکتور (ضریب) کیفیت بطور مستقیم از توزیع فرکانس بدست نمی آید زیرا تشدید FWHM محدود به توزیع میدان توسط زمان پخش نور است بنابراین کیفیت حفره بصورت زیر تعریف می شود. [4]

$$Q = \omega r / \text{FWHM}.$$

عرض کامل در نیمه حداکثر فرکانس در اینجا است دامنه سیگنال رزونانس توسط FWHM رزونانس (تشدید)  $\omega r$  در رابطه زیر تعریف میشود.

$$E(t) = e^{-t(\alpha - \omega r)} \cdot u(t).$$

در این حالت  $\alpha$  ثابت تضعیف سیگنال است تبدیل فوریه EQ می شود.

$$|E(\omega)| = 1 / \alpha^2 + (\omega - \omega r)^2.$$

در اینجا  $\alpha$  توسط  $W/2Q$  تعیین می شود بنابراین ضریب تضمین  $\alpha$  به عنوان ضریب مربوط به کیفیت به دست آمده است.

برای به دست آوردن رابطه بین پاکت سیگنال زمان و ضریب کیفیت، پاکت زمان باید یک تابع لگاریتمی به یک تابع خط تبدیل نمود. [5]

$$\log_{10}(|E(t)|) = [-\omega r / 2Q] \cdot \log_{10}(e) = mt.$$

در مورد  $m$  شیب سیگنال زمان لگاریتمی ضریب انقباض را خنثی می کند بنابراین معادله ضریب کیفیت حفره برای مورد در واحد SI بصورت زیر محاسبه خواهد شد.

$$Q = -2 \pi f R \log_{10}(e) / 2m.$$

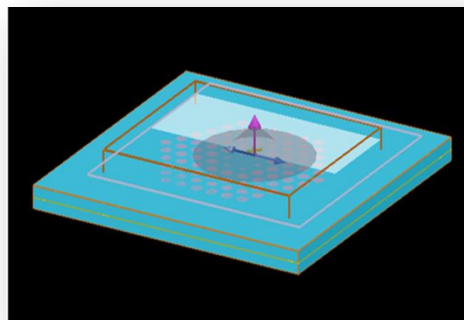
از مزیت های لیزر فمتوثانیه میتوان به تک مد بودن، طیف خروجی بالا، سرعت مدولاسیون و ضریب کیفیت بالا اشاره نمود و این ویژگی ها سبب میشود تا از این لیزر در مدارهای مجتمع نوری، ارتباطات نوری، صنعت و پزشکی استفاده شود.

## 2- ساختار طرح پیشنهادی:

در این مقاله یک شبه کریستال میکروکاواک دو بعدی با رویکرد کاربردی لیزرهای فمتوثانیه مورد بررسی قرار گرفته است [6]. ساختار میکروکاواک شبه کریستال کاملاً منحصربه فرد است این ساختار شبه کریستال متشکل از دوشبکه با هندسه های مختلف است در واقع هدف طراحی یک لیزر کریستال فوتونی کوانتومی بایکارگیری یک کاواک بلور فوتونی می باشد. [6]

باانجام چندین بهینه سازی در ساختار، بالاترین توان خروجی برای یک لیزر فمتوثانیه تاپول موج کاری خاص بدست می آید، بهبود ضریب کیفیت و طول موجی که بطور همزمان پایدار است از مهمترین خصوصیات این ساختار می باشد ساختار این لیزر متشکل از دو حلقه کریستال فوتونی با هندسه های مختلف واز مواد نیمه هادی اینیدیم فسفید (Inp) می باشد . [7]

که در شکل 1 نشان داده شده است شبکه این دو حلقه 575nm و شعاع حفره های شبکه بیرونی 196nm و شعاع حفره های درونی 100mm می باشد توان ورودی این لیزر بلور فوتونی، پمپی دارای پالس موج پیوسته با دامنه 107/m است ناحیه شبیه سازی با مستطیل نشان داده شده است که با استفاده از روش FDTD صورت میگیرد .



شکل 1 - ساختار لیزر کریستال فوتونی سه بعدی طراحی شده

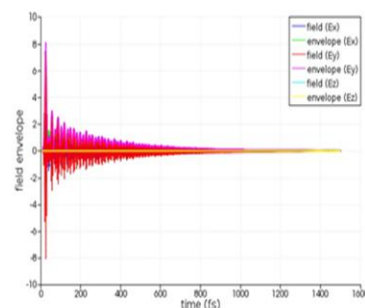
### 3- نتایج شبیه سازی:

جهت بررسی ویژگی های ساختار در این مقاله از نرم افزار لومریکال FDTD استفاده شده است این نرم افزار حل کننده معادلات ماکسول (دوبعدی سه بعدی) و برای تجزیه و تحلیل شبه کریستال با روش تفاضل متناهی در حوزه زمان و به بررسی رفتار انتشار نور درون این ساختارها برای توزیع و ضریب کیفیت میکروکاواک، توزیع میدان در حوزه فوریه و زمان می پردازد. [8]

ضریب شکست زیر لایه کاواک 2/0995 انتخاب شده است در شرایط مرزی همه شبیه سازی ها لایه کاملاً منطبق (PML) در نظر گرفته شده است. در هر مرحله شبیه سازی چندین بار تکرار می شود تا ثبات و بازتولید آن تایید و نتایج نهایی برآورده شود. [9]

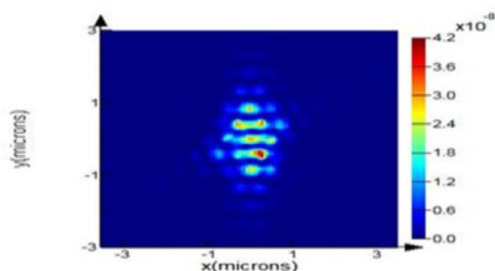
با استفاده از این تکنیک ها شبیه سازی ساختار نمونه اولیه در طول 1500fs انجام شده ضریب کیفیت 184/799nm در 143/88nm بدست آمده است با بهینه سازی پارامترها ضریب کیفیت میکروکاواک ها افزایش می یابد و طول موج رزونانس (تشدید) به طرف طول موج لیزر فمتوثانیه منتقل و شیفت داده می شود نمودارهای خروجی در زیر نشان داده شده است. [10]

شکل 2 و 3 برای تشدید میکروکاواک خوب باید میدان را به صفر برسانیم تا پایدار شود هر چه نوسان پشت میدان بیشتر باشد بهتر است ، در پایان باید به صفر برسد EX-EV-EZ این همان میدان ها می باشد در جهت مختصاتی .[11].



شکل 2- نمودار توزیع میدان

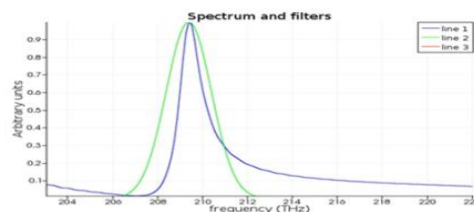
پوشش میدان در حوزه زمان برای تشدید میکرو کاواک کریستال مختصات مانیتور منبع ما را در شبیه سازی فوتونی در محور X,Y نشان می دهد . منبع گاوسی ما با طول رزونانس (طول موج تشدید ) که برای لیزر 1433.88 نانومتر است به داخل ساختار لیزر کریستال فوتونی می تانیم و این نمودار میدان کاواک کریستال فوتونی است . ( نقطه های قرمز و زرد) باتوجه به محور عمودی مقدار میدان بیشتره و بین  $6 - 4.2$  دهم در ثانیه میباشد ونقطه های آبی اطراف میدان ، مقدار کمتر میدان را در شکل 3 نشان میدهد. [12].



شکل 3 – پوشش میدان در حوزه زمان برای تشدید میکروکاواک کریستال فوتونی

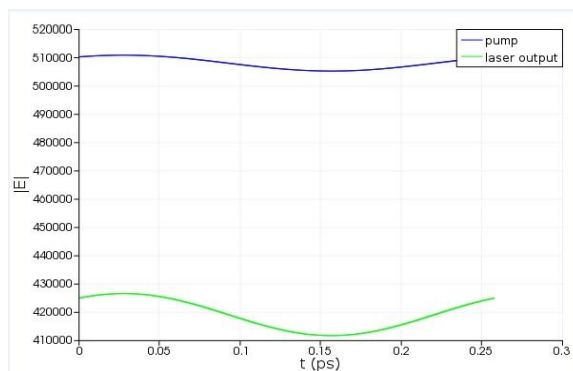
هر رزونانس (تشدید) باید با استفاده از فیلتر گاوسی در حوزه فرکانس جدا شود، رویکردی از اثرات کوانتومی در لایه های فعال یک لیزر چند ساختاره مانند بهره یا گین نوری انتظار می رود تاثیر بهره QD برای ساختار های لیزر براساس مواد QD اینیدیم فسفید تحلیل شده است و علاوه براین با کاهش ابعاد حداکثر بهره لیزر بطور قابل توجهی افزایش می یابد .[13].

منبع گاوسی یا پمپ یکی از اجزای لیزر است بادامنه ماکزیمم به داخل لیزر می تابانیم که در شبیه سازی ما یک پمپ بادامنه 107 در طول موج رزونانس 88. 1433 که معادل رابطه طول موج و فرکانس معادل با 210THZ بدست می آید نمودار رنگ آبی فیلتر گاوسی یا پمپ را نشان می دهد و نمودار رنگ سبز پیک تشدید کاواک را نشان می دهد . شکل 4 .



شکل 4 - پیک رزونانس یا تشدید میکرو کاواک و فیلتر گاوسی مربوطه در حوزه فرکانس.

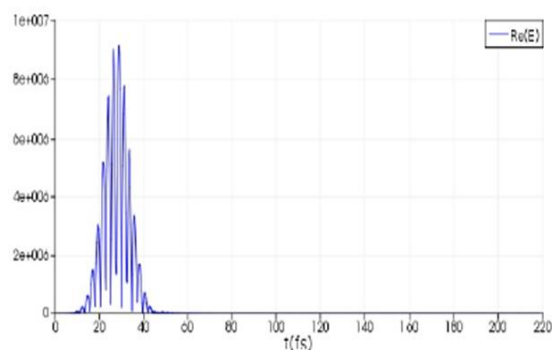
برای شبیه سازی یک لیزر QD شبیه کریستال با طول موج عملیاتی 1431/88nm یک پمپ موج پیوسته استفاده شده است . یک QD بامدل چهار سطح دوالکترون و ویژگی اینیدیم فسفات (براساس -INP) در مرکز ساختار قرار داده شده است ابتدا منبع پروسه تحریک را آغاز میکند سپس میکرو کاواک شبه کریستال در طول موجی رزونانس (تشدید) 1431/88nm به علت وجود QD با ماکزیموم ضریب شکست در این طول موج بر انگیخته می شود نمودار لگاریتمی پمپ (ورودی - خروجی) لیزر و توان خروجی لیزر نقطه کوانتومی شبه کریستال در طول موج عملیاتی 1431/88nm بین 41000w/m2 تا 43000w/m2 می باشد . توان با E یا میدان متناسب است اینجا توان خروجی لیزر مقدار ثابت و نسبتا بالایی دارد و توان پمپ لیزر هم که با رنگ آبی در شکل 5 نشان داده شده از کاواک به دست آمده است که مقدار بالایی دارد . این از مزیت لیزر طراحی شده ما در این مقاله است که داخل لیزرهای دیگر معمولا نوسان وجود دارد . [14]



شکل 5 - توان پمپ و توان خروجی یک لیزر کوانتومی شبه کریستال در 1431/88nm .



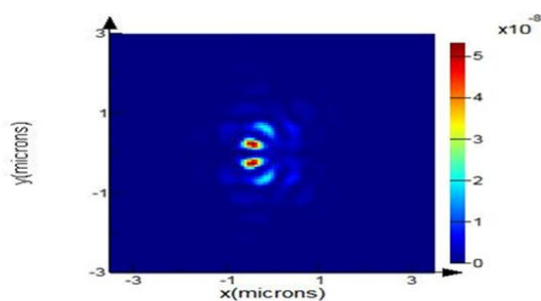
از رویکرد بهینه سازی برای ویژگی های ساختاری میکروکاوک ، اثرات پارامترهای مختلف بر روی بهینه سازی توان خروجی بررسی شده است با استفاده از یک لیزر نقطه کوانتومی 1431/88 نانومتر بعنوان ساختار مطلوب این میکروکاوک شبه کریستال باتوان خروجی بالا مورد بررسی قرار گرفته است. لیزر طراحی شده در این نمودار طیف میدان الکتریکی لیزر بلور فوتونی و تغییر میدان الکتریکی بر حسب زمان همانطور که مشاهده میکنید لیزر مادارای پیک میدان الکتریکی بسیار بالایی می باشد و این از مزیت های لیزر کریستال فوتونی طراحی شده ما می باشد. شکل 6. [14]



شکل 6- میدان الکتریکی بر حسب زمان

طیف میدان الکتریکی که طیف میدان خودلیزراست که نقاطی که مرکز هستند و بارنگ قرمز و زرد نشان داده شده است در این نقاط

شدت میدان بیشتر است. شکل 7



شکل 7- طیف میدان

مقایسه با مقاله های پیشین :

لیزر طراحی شده در این مقاله نسبت به لیزر طراحی شده دکتر برایان و همکاران در سال 2010 دارای طیف بالاتری میباشد و همچنین لیزر طراحی شده در این مقاله دارای طراحی ساده تری نسبت به لیزر طراحی شده دکتر جان و همکاران میباشد به علاوه عدم وابستگی طیف انتشاری لیزر کریستال های فوتونی، دما از دیگر مزیت های لیزر کریستال فوتونی ما میباشد. لیزر طراحی شده در این مقاله نسبت به یکی از جدیدترین طراحی ها یعنی لیزر طراحی شده توسط مصلی نژاد و کشاورز در سال 2015 دارای طراحی بسیار ساده تری می باشد، همچنین توان پمپ و توان خروجی لیزر کریستال فوتونی طراحی شده در این مقاله بیشتر می باشد. [15-16].

#### 4- نتیجه گیری:

کریستال های فوتونی بهترین مواد شناخته شده برای ادوات نوری و مدارهای مجتمع نوری هستند. [12] ابزارهای بلور فوتونی، کاواک می باشد و کاواک ها موج انتشار در شبکه رادریک نقطه متمرکز کرده و تشدید ایجاد میکنند، طیف میدان الکتریکی برای میکرو کاواک و لیزر طراحی شده در این مقاله و نزدیک بودن محل نقطه مشاهده در حفره به این نقاط و رنگی بودن آنها نشان دهنده میدان بالا در ادوات طراحی شده می باشد. از ویژگی های مهم این میکرو کاواک طراحی شده، ضریب کیفیت بالا، نرخ تغییرات کم و طول موج مناسب کاری لیزرها است که طول موج کاری آن طول موج بهره برداری از لیزر فمتوثانیه است که با استفاده از رویکرد بهینه مقاله به دلیل دارا بودن توان خروجی بالا، سادگی طراحی، مساحت کم در طراحی مدارهای مجتمع نوری-ارتباطات نوری-مخابرات - صنعت و پزشکی بکار گرفته می شود.

#### مراجع:

[1] J. Robinson and Y. Rahmat-Samii, "Particle swarm optimization in electromagnetic," IEEE Trans. Antennas Propag. 52, 397-407 (2004).



- [2] G. Lehmann and K. H. Spatschek, Phys. Plasmas 23, 023107 (2016).
- [3] J. Sch aibley, Sanfeng Wu ,S. Buckley, L Feng, J. Yan, “ Monolayer semiconductor nanocavity laser with ultralow thresholds” doi: 10.1038/nature 14290,( 2015 ).
- [4] Z.V. Vardeny ,A. Nahata, and A. Agrawal,” Optics of photonic qua-sicrystals,” Nat.Photonics 7, 177-187 (2013).
- [5] H.-F. Zhang, S.-B.Liu, and B.-X. Li, Phys. Plasmas 23(2016).
- [6] Y. Gong, B. Ellis, G. Shambat, T. Sarmiento, "Nanobeam photonic crystal cavity quantum dot laser" , Optical Society of America, Vol. 18, No. 9 /OPTICS EXPRESS 87812010 , 26 April 2010.
- [7] Gh . Mosallanezhad, A. Keshavarz , "Design and optimizations of quasiperiodic microcavity with highquality factor and its application in quantum dot lasers Optical Engineering 54(10), 106102 October (2015).
- [8] Xu JJ, Yao WG, Tian ZN, Wang L, Guan KM et al. High curvature concave–convex microlens. IEEE Photon Technol Lett 2015.
- [9] F.Wen et al.,” Two-dimensional photonic crystals with large complete photonic band gaps in both TE and polarizations,” Opt. Express 16,12278-12289 ( 2008 ).
- [10] N.Kirstaedter et al.,” GGain and differential gain of single layer InAs/GaAs quantum dot injection laser,” Appl.Phys .Lett 69, 1226-1228 (1996 ).
- [11] H. Jiang and J.Singh,” Nonequilibrium distribution in quantum dots laser and influence on laser spectral output ,” J.Appl.Phys . 85 ( 1999).
- [11] A.Taflove an S. C. Hagness,Computational Electromagnetics: The Finite-Difference Time-Domain Method, 3<sup>rd</sup> ed ., Artech House, Norwood, MA ( 2005).
- [12] M. Malinauskas, A. Zukauskas, S. Hasegawa, Y. Hayasaki, V. Mizeikis, R. Buividas, S. Juodkazis. Ultrafast laser processing of materials. Science & Applications 5, e16133(2016).
- [13] G. Lehmann , K.H. Spatschek . Transient plasma photonic crystals for high-power lasers. 9.5. printed May 9, (2016).
- [14] S. Chen,† K. Roh, J. Lee, W.Chong, Y. Lu, N. Mathews, T. Sum, A. Nurmikko . A Photonic Crystal Laser from Solution Based Organo-Lead Iodide Perovskite Thin Films. March 12, 2016.
- [15] G. C. Shan et al .,” Vertical-external-cavity surface-emitting laser and quantum dot laser,”Front.Optoelectron. 5,157-170 (2012 ).