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

تاثیر ساختار هندسی بر لیزرهای پلاسمونیکی تراهرتز با پسخوراند توزیع‌شده

فائزه پاک‌فطرت*، حسن پاکارزاده، وحید شریف

دانشکده فیزیک، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

چکیده: لیزرهای پلاسمونیکی، پلاریتون پلاسمون سطحی همدوس را تولید می‌کند (SPP). کاواک‌های پلاسمونیکی برای لیزرهای آبشار کوانتومی تراهرتز (QCLs) استفاده می‌شوند که بهترین منابع حالت جامد در تابش تراهرتز (فرکانس ۱۰-۰/۱ THz، طول‌موج ۳۰µm - ۳mm) هستند. برخلاف لیزرهای معمولی، لیزرهای پلاسمونیکی با توجه به روزنه‌های زیرطول‌موجی‌شان، الگوهای تابشی بسیار واگرایی دارند. روش موثر پسخوراند توزیع‌شده (DFB)، در لیزرهای آبشار کوانتومی بصورت یک توری تداخلی یک بعدی (تفرق براگ) است. یک روش جدید برای به‌کاربردن پسخوراند توزیع‌شده (DFB) وجود دارد که به اصطلاح طرح پسخوراند آنتنی نام دارد که منجر به عملکرد تک مدی در لیزرهای پلاسمونیکی می‌شود. در این مقاله، با استفاده از طرح پسخوراند آنتنی و شبیه‌سازی دو بعدی با تغییر ضخامت مرزهای جاذب در دو انتهای طولی کاواک به افت کمتر از ۵/۹ cm^{-1} و ارتفاع شدت تقریبا ۱۳۵ µm برای پرتو خروجی دست پیدا می‌کنیم. همچنین، با تغییر عرض و ضخامت توری فلزی، سمت گیری پرتو خروجی را بصورت عمودی یا مورب کنترل می‌کنیم. خواهیم دید که انتشار بصورت مورب در مقایسه با انتشار عمودی، دارای افت فرکانس تشدید و ارتفاع شدت بیشتری است.

کلید واژگان: لیزرهای آبشار کوانتومی؛ پسخوراند آنتنی؛ افت؛ ساختار هندسی.

The impact of geometric structure on terahertz plasmonic lasers with distributed feedback

Faezeh Pakfetrat*, Hassan Pakarzadeh, Vahid Sharif

Physics Department, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

Abstract- Plasmonic lasers generate coherent surface-plasmon polaritons (SPPs). Plasmonic cavities are utilized for terahertz quantum-cascade lasers (QCLs), which are the brightest available solid-state sources of terahertz radiation (frequency~ 0.1 THz - 10 THz, wavelength~ 30 µm - 3 mm). Unlike conventional lasers that could produce directional beams, plasmonic lasers have highly divergent radiation patterns due to their subwavelength apertures. The effective distributed feedback (DFB) method in quantum cascade lasers is a one-dimensional interfering grating (Bragg di‧raction). There is a new method for using distributed feedback (DFB) which is called the antenna feedback scheme leads to single-mode operation in plasmonic lasers. In this paper, using antenna feedback design and two-dimensional simulation, by changing the thickness of the absorbing boundaries at both longitudinal ends of the cavity, we achieve a loss lower than 5.9 cm^{-1} and an intensity height of approximately 135 µm for the output beam. Also, by changing the width and thickness of the metal grating, the output beam can be tilted or vertically oriented. We will see that tilted output has a higher resonant frequency loss and more intensity height than the vertical output.

Keywords: Quantum Cascade Lasers; Distributed Feedback; Loss; Geometric Structure.

* F.pakfetrat@sutech.ac.ir

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]

۱- مقدمه

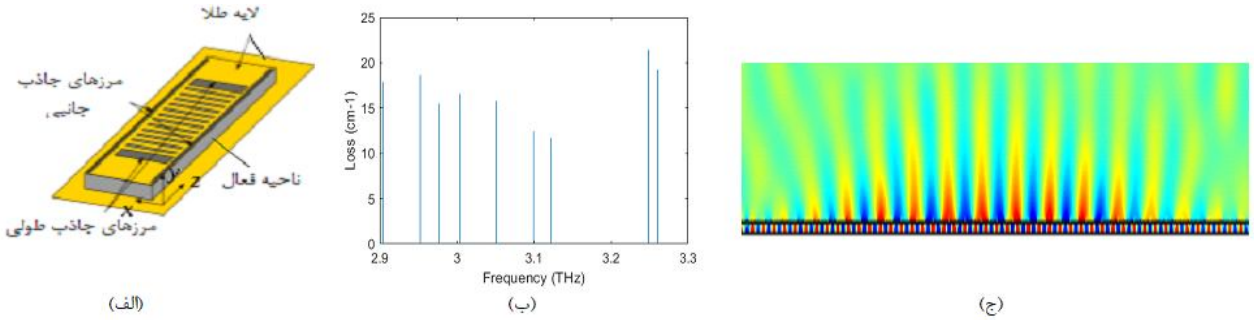
امروزه منابع تراهرتز از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. بسیاری از جامدات و مولکول‌ها دارای اثرات طیفی متمایز و قوی‌ای در فرکانس‌های تراهرتز هستند که فناوری تراهرتز را برای هر دو کاربرد علمی و تجاری در زمینه‌های مختلف، مهم می‌سازد [۱]. تولید تابش تراهرتز از طریق منابع مختلفی مانند نوسانگرهای پارامتری و ترکیب چهار موج (FWM) [۲] که دارای توان میانگین پایینی هستند، امکان‌پذیر است. لیزرهای آبشار کوانتومی (QCLs) تراهرتز یکی از بهترین منابع در دسترس حالت جامد [۳] برای تولید تابش تراهرتز همدوس، با توان میانگین بالا هستند. QCLها با استفاده از توری‌های خارج از کاواک با ناحیه‌ی فعال GaAs/ AlGaAs نشان داده شده‌اند. این ساختار در دمای نیتروژن مایع (۷۸° K) کار می‌کنند [۵،۴]. موجبر پلاسمونیکی فلز-فلز با صفحات موازی، موثرترین راه برای حبس کردن تابش تراهرتز از QCLها با توجه به مقدار کم افت نوری فلزات [۶] در این فرکانس است. برای چنین کاواک‌هایی، معمولا بعد عمودی بسیار کوچک‌تر از طول‌موج نور حبس شده است.

در این مقاله، اثر ساختار هندسی بر ویژگی‌های پرتو خروجی و افت فرکانس تشدید لیزر تراهرتز با طرح پسخوراند آنتنی بررسی می‌شود. همچنین با تنظیم گام توری (Λ=۲۱/۷ μm)، انتشار لیزری به صورت سطحی خواهد شد که گام توری با رابطه $\lambda = \frac{(n_a + n_s)\Lambda}{p}$ به دست می‌آید که در آن n_a~۳/۶ ضریب‌شکست محیط فعال، n_s=۱ ضریب‌شکست محیط اطراف (هوا) و برای طرح پسخوراند آنتنی p=۱ (مرتبه پراش) می‌باشد.

۲- مبانی نظری و نتایج شبیه‌سازی

با استفاده ازنرم افزار کامسول، ساختار را به صورت دو بعدی شبیه سازی کردیم. دو لایه‌ی بسیار آلاییده شده از جنس GaAs بر روی ابتدا و انتهای طولی ناحیه‌ی فعال بعنوان مرزهای جاذب با عرض‌های مختلف قرار می‌گیرند. عرض شکاف بین نوارهای توری طلا نیز ۰/۲Λ است. عرض مرزهای جاذب ۱۰ μm و ضخامت آن ۰/۱ μm می‌باشد. طول کاواک ۱/۴ mm، ضخامت آن ۱۰ μm و ضخامت لایه‌ی طلا نیز ۰/۴ μm است (مطابق شکل ۱ (الف)).

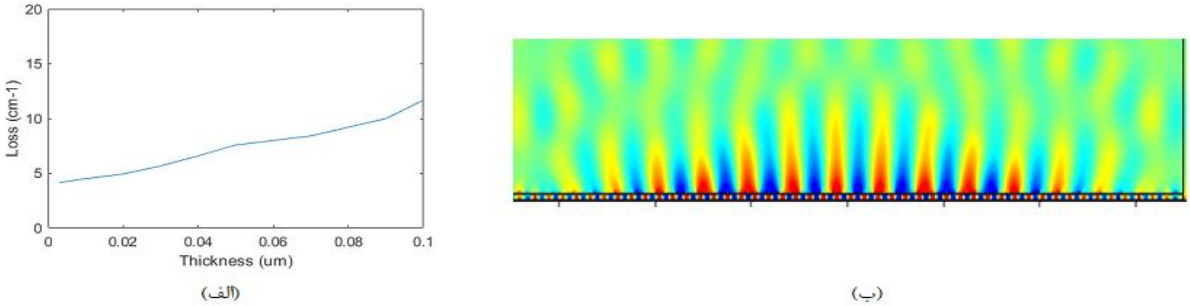
افت لیزری را در فرکانس‌های مختلف بررسی می‌کنیم و در شکل ۱ (ب) خواهیم دید که کمترین افت در فرکانس تشدید ۳/۱۲ تراهرتز وجود دارد. همچنین، می‌توان میدان الکتریکی در امتداد طول کل کاواک را در شکل ۱ (ج) مشاهده کرد.



شکل ۱- الف) طرح کلی یک کاواک پله‌ای با صفحات موازی فلز-فلز (لایه‌ی فلزی بالایی بصورت توری همراه با مرزهای جاذب) [۷]. طرح پسخوراند آنتنی با گام توری ۲۱/۷ μm. ب) طیف ویژه مد. افت لیزری در فرکانس تشدید حدود ۳/۱۲ تراهرتز، حدود $12cm^{-1}$و ارتفاع شدت در مرکز طولی کاواک تقریبا ۱۰۰ μm است. (ج) میدان الکتریکی (E_y) در امتداد طول کل کاواک.

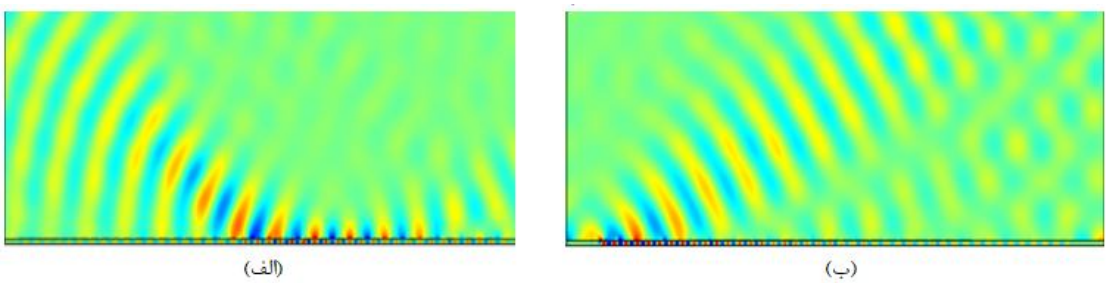
این مقاله در صورتی دارای اعتبار است که در سایت www.opsi.ir قابل دسترسی باشد.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]



شکل ۲- الف) نمودار افت فرکانس لیزری بر حسب ضخامت مرزهای جاذب؛ ب) الگوی شدت انتشار پرتوی خروجی لیزر در ضخامت مرزهای جاذب کمتر از ۰/۱ μm.

همانطور که از شکل ۲ (الف) پیداست، با افزایش ضخامت مرزهای جاذب، افت لیزری افزایش می‌یابد. قسمت (ب)، طرحواره انتشار لیزر، زمانی‌که ضخامت مرزهای جاذب ۰/۰۰۸ μm می‌باشد و ارتفاع انتشار (تقریبا ۱۳۵ μm از بالای سطح) افزایش یافته است را نشان می‌دهد. می‌توان با افزایش ضخامت توری فلزی به ۱ μm در گام Λ=۲۱/۷ μm و ضخامت مرزهای جاذب ۰/۰۵ μm، در فرکانس تشدید ۳/۱۲ تراهرتز به افتی حدود ۵/۹۱ cm^{-1} دست پیدا کرد.



شکل ۳- تاثیر عرض و گام توری در سمتگیری انتشار پرتو لیزر. الف) عرض توری فلزی و گام اولیه‌ی توری به ترتیب ۲۰ μm و ۲۱ μm ؛ ب) Λ=۳۸/۳۶ μm ، ضخامت (T) اولیه‌ی توری ۰/۲۵ μm، عرض شکاف تقریبا Λ ۰/۱۳.

در شکل۳ تاثیر عرض و گام توری در سمتگیری انتشار پرتو لیزر نشان داده شده است. در قسمت (الف)، گام توری را با ضابطه‌ی $\Lambda_n= \Lambda_{n-1}+1$ در امتداد طولی کاواک افزایش می‌دهیم بطوریکه n شماره‌ی شکاف توری است. انتشار بصورت مورب با زاویه‌ی ۴۵ درجه متمایل به چپ (مورب منفی) و ارتفاع شدت تقریبا ۳۳۰ μm در فرکانس ۲/۹۷ تراهرتز صورت می‌گیرد اما مقدار افت (~ ۳۰/۳۱ cm^{-1}) افزایش یافته است. ضخامت توری را در شکل ۳ قسمت (ب)، در امتداد طول کاواک و تا مرکز طولی کاواک بر اساس ضابطه‌ی $T_n=T_{n-1}+0/5$ و از مرکز تا انتهای کاواک بر اساس ضابطه‌ی $T_n=T_{n-1}-0/5$ تغییر داده‌ایم. انتشار بصورت مورب با زاویه‌ی ۴۵ درجه متمایل به راست (مورب مثبت) و ارتفاع شدت تقریبا ۴۰۰ μm در فرکانس ۲/۹۸ تراهرتز صورت می‌گیرد اما مقدار افت فرکانسی (~ ۳۲/۷۸ cm^{-1}) نیز مانند قسمت (الف)، افزایش یافته است. در هر دو حالت عرض مرزهای جاذب ۴۰ μm می‌باشد.

مراجع

[1] M. Tonouchi. **Nat. Photon 1,** 97–105, 2007.
[۲] پاکارزاده، حسن؛ صدیقی، سپیده؛ هنرآسا، غلامرضا؛ **بیست و چهارمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران، شهرکرد**، ۱۹۶-۱۹۳، ۱۳۹۶.
[3] G. Chattopadhyay. **IEEE Trans. THz Sci. Technol 1,** 33, 2011.
[4] S. Kumar *et. al.* **Opt. Express 15,** 113, 2007.
[5] M. I. Amanti. *et. al.* **Opt. Express 18**, 6390, 2010.
[6] K. Gallacher. **Opt. Express 28**, 384993, 2020.
[7] C. Wu. **Lehigh University, Theses and Dissertations** 2882, 2016.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-03]