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

# طراحی یک جاذب فراماده بسیار پهن‌باند تراهرتز بر اساس تشدیدگرهای ریز نواری

مصطفی شعبانی[۱] *

[۱] گروه الکترونیک، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

**چکیده:** در این مقاله با اضافه کردن یک لایه عایق بر روی دو لایه تشدیدگر ریز نواری انباره شده از جنس کرومیوم، ساختار جدیدی از جاذب‌های پهن باند تراهرتز ارائه شده است. این ساختار با استفاده از روش عددی المان محدود شبیه‌سازی شده و نشان داده شده است که پهنای باند نسبی آن با فقط دو لایه تشدیدگر برای جذب ۹۰ درصد به ۱۵۰ درصد می‌رسد. پهنای باند این ساختار به طول ۲/۶ تراهرتز است و فرکانس‌های بین ۰/۴۳ تا ۳/۰۳ تراهرتز را می‌پوشاند. جذب در این ساختار برای هر دو قطبش TEو TM نسبت به زاویه برخورد در بازه ۰ تا ۶۰ درجه غیر حساس است و همواره بالای ۸۰ درصد قرار دارد. علاوه بر این، عدم حساسیت افزاره پیشنهادی به ناهمترازی بین لایه‌ها تا ۴۵ میکرومتر، ساخت آن را بسیار راحت می‌کند.

**کلید واژگان:** جاذب؛ فراماده؛ تراهرتز؛

## Design of an ultra-broadband THz metamaterial absorber based on micro-strip resonators

Mostafa Shabani[1]

1 Dept. of Electronics, Faculty of electrical and computer engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran

**Abstract-** In this article, a new structure of ultra-broadband absorber has been introduced by adding an insulator layer on two stacked layers of the microstrip resonators made of chromium. This structure is simulated by finite element method (FEM) and it has been shown that the relative bandwidth of the structure exceeds 150 percent for 90 percent absorption by using only two layers of resonators. Its bandwidth is equal to 2.6 THz and covers the frequency range between 0.43 to 3.03 THz. The absorption of this structure for both TE and TM polarization is insensitive to the incident angle between 0 to 60 degrees and always is more than 80 percent. besides, the insensitivity of the structure to the misalignment between layers up to 45 μm facilitates its fabrication.

**Keywords**: Absorber; Metamaterial; Terahertz;

* m.shabani95@ms.tabrizu.ac.ir



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

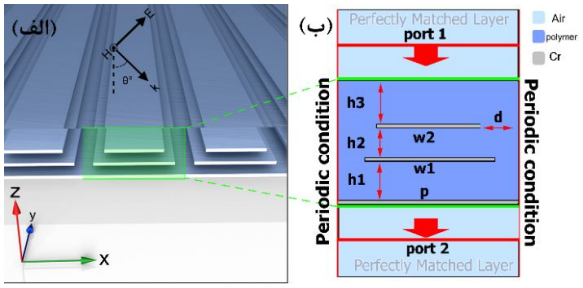
[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01 ]

## ۱- مقدمه

جاذب‌های تراهرتز پهن‌باند به دلیل کاربردهایی که در حسگرها و تصویربرداری امنیتی و پزشکی تراهرتز دارند مورد توجه هستند. از انواع این جاذب‌ها، جاذب‌های انباره‌ای مبتنی بر فلز [۱و ۲] و جاذب‌های انباره‌ای مبتنی بر گرافن [۳و ۴] هستند. داشتن پهنای باند بالا در کمترین تعداد لایه، عدم حساسیت به زاویه برخورد، عدم حساسیت به ناهمترازی میان لایه‌ها و دارا بودن ساخت آسان از ویژگی‌های یک جاذب ایده آل است[۱و ۲]. به عنوان نمونه منابع [۱و ۲] با استفاده از به ترتیب ۵و ۳ لایه تشدیدگر فلزی، جاذب‌هایی با پهنای باند به ترتیب ۱۰۶/۶ درصد برای جذب ۸۰ درصد و ۷۰/۴ درصد برای جذب ۹۰ درصدی ارائه می‌دهند. همچنین منابع [۲و ۳] با استفاده از ۳ لایه تشدیدگر گرافنی جاذب‌هایی با پهنای باند به ترتیب ۱۳۱و ۱۴۰ درصد برای جذب ۹۰ درصدی ارائه می‌دهند. در این مقاله به طراحی ساختار جاذبی جدید با فقط ۲ لایه تشدیدگر فلزی انبارش‌شده ریز نواری از جنس کرومیوم پرداخته شده است. برای این کار از روش شبیه‌سازی المان محدود استفاده شده است. ویژگی این ساختار اضافه کردن لایه عایقی بر سطح آن است تا با ایجاد یک تشدید فبری-پرو اضافی، پس از بهینه‌سازی پهنای باند ساختار را افزایش دهد. در این مقاله ابتدا به شبیه‌سازی، ارائه پارامترهای ساختار و محاسبه طیف جذب آن می‌پردازیم. سپس حساسیت جذب در این ساختار را برای هردو قطبش TEو TM نسبت به زاویه برخورد می‌سنجیم. و پس از آن عدم حساسیت آن را به ناهمترازی[1] میان لایه‌ها را بررسی می‌کنیم.

## ۲- ساختار پیشنهادی و شبیه‌سازی عددی

یک سلول از ساختار پیشنهادی متناوب به صورت شکل۱- (الف) است. این ساختار، حاصل از انبارش دو لایه فلزی به شکل ریز نوار و از جنس فلز کرومیوم بر روی یک لایه پس‌زمینه و یکپارچه از جنس کرومیم است. پلیمری با ضریب عایق $\varepsilon_d$ که بخش حقیقی آن برابر با ۲/۷۹ و بخش مجازی آن برابر با ۰/۳۱[۱] است تشدیدگرها را فرا گرفته است. ضخامت هر لایه فلزی برابر با ۱۵۰ نانومتر و میزان هدایت الکتریکی آن بر طبق منبع[۱] برابر با $۲/۲\times۱۰^{۵}$ است. دوره سلول $p$ نامیده شده و فاصله تشدیدگر اول از لایه پس زمینه $h1$، فاصله تشدیدگر دوم از اولی $h2$ و فاصله سطح مقطع میان هوا و ماده عایق تا تشدیدگر دومی $h3$ است. عرض تشدیدگرهای ریز نواری در لایه پائینی برابر با $w1$ و در لایه بالایی برابر با $w2$ است. نام پارامترها و شرایط مرزی استفاده شده، در شکل۱- (ب) نشان داده شده است. مش بندی ساختار با دقت مناسب و اندازه‌ی کوچک انجام گرفته است. انرژی معادل ۱ وات با زاویه برخورد $\theta$ از طریق پورت شماره ۱ به ساختار تابیده می‌شود و پس از عبور از آن توسط پورت شماره ۲ جمع‌آوری می‌شود. قطبش نور برخوردی برای TE به صورت مؤلفه میدان الکتریکی در راستای $x$ و برای TM مؤلفه میدان مغناطیسی در راستای $y$ شکل۱- (الف) تعریف شده است. میزان جذب از فرمول زیر محاسبه می‌شود[۲]:




شکل۱ (الف) ساختار دوره‌ای حاصل از انبارش ریز نوارهای کرومیوم

(ب) شرایط مرزی و پارامترهای مشخصه ساختار

$$A(\omega)=1-R(\omega)-T(\omega) \qquad (۱)$$

که در آن $T$ ضریب عبور و $R$ ضریب بازتاب است. این مقادیر با استفاده از پارامترهای $S$، به صورت $R=|S_{11}|^2$ و $T=|S_{21}|^2$ محاسبه می‌شود. مقادیر هندسی ساختار با الگوریتم جست‌وجوی محلی به گونه‌ای بهینه‌سازی شده است تا امکان تزویج میان سه نوع تشدید فبری-پرو، پلاسمون‌های سطحی منتشر شونده و پلاسمون‌های سطحی محلی را فراهم آورد.

[1] misalignment



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

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01 ]

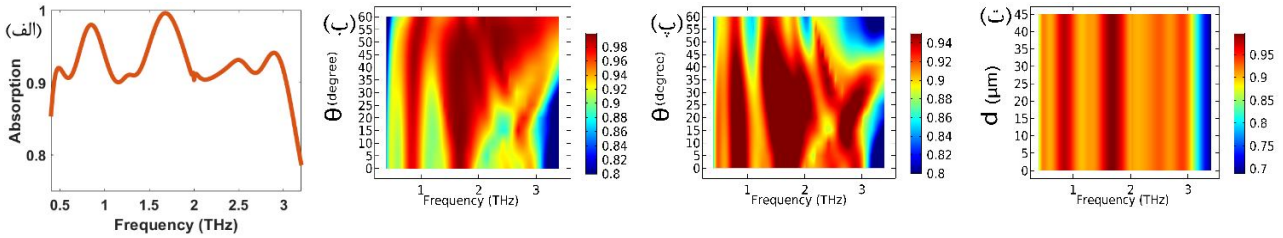
## ۳- نتایج و بحث:

مقادیر پارامترهای ساختار در جدول ۱ گزارش شده است. میزان ضریب جذب برای ساختاری با مشخصات گزارش‌شده، در حالت عمود تاب در شکل۲- (الف) نشان داده شده است. بر طبق این شکل، طیف جذب ساختار دارای ۶ قله در فرکانس‌های ۰/۴۹، ۰/۸۵، ۱/۲۸، ۱/۶۸، ۲/۴۹و ۲/۸۹ تراهرتز با جذب‌های به ترتیب ۹۲، ۹۸، ۹۱، ۹۹، ۹۳ و ۹۴ درصد است. پهنای باندی که در آن جذب ساختار بالای ۹۰ درصد است برابر با ۲/۶ تراهرتز در میان فرکانس‌های ۰/۴۳ تا ۳/۰۳ تراهرتز است که پهنای باند نسبی تقریبی معادل آن برابر با ۱۵۰ درصد می‌شود.

جدول ۱ مقادیر پارامترهای مشخص شده در شکل ۱- (الف)

| نام پارامتر | $P$ | $h1$ | $h2$ | $h3$ | $w1$ | $w2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اندازه (μm) | 150 | 24 | 21 | 30 | 119 | 56 |

حساسیت میزان جذب نسبت به زاویه برخورد برای تابش با دو نوع قطبش TEو TM در زاویه‌های برخورد صفر تا ۶۰ درجه محاسبه شده و به ترتیب در شکل۲- (ب و پ) نشان داده شده است. بنابراین نتایج، جذب در ساختار برای دو قطبش TEو TM تقریباً به زاویه برخورد حساس نیست و برای زاویه‌های بین ۰ تا ۶۰ درجه بالای ۸۰ درصد می‌ماند. همچنین با تغییر میزان پارامتر $d$ نشان داده شده در شکل۱- (ب) بین ۰ تا ۴۵ میکرومتر میزان حساسیت ساختار به ناهمترازی میان لایه‌های مختلف سنجیده شده است و نتایج در شکل۲- (ت) به نشان داده شده است. بنابراین نتایج، ساختار نسبت به ناهمترازی بین لایه‌ها کاملاً غیر حساس است که این ویژگی موجب آسان‌تر شدن ساخت آن می‌شود. لازم به ذکر است که پهنای باند نسبی این ساختار با استفاده از فقط دو لایه تشدیدگر با میزانی برابر با ۱۵۰ درصد نسبت به ساختارهای مرور شده [۱-۴] بهبود یافته است. این جاذب امکان تنظیم فرکانس با حفظ پهنای باند در کل بازه تراهرتز را دارد و می‌تواند در کاربردهای تراهرتز به ویژه در زمینه آشکارسازی و طیف‌سنجی بکارگیری شود.




شکل ۲ (الف) ضریب جذب محاسبه شده برای ساختار در فاصله ۰/۴ تا ۳/۲ تراهرتز (ب) جذب به ازای زاویه‌های ۰ تا ۶۰ درجه برای قطبش TE (پ) جذب به ازای زاویه‌های ۰ تا ۶۰ درجه برای قطبش TM (ت) جذب به ازای تغییرات ناهمترازی بین لایه‌ها

## مراجع

[1] Zhu, J., Ma, Z., Sun, W., Ding, F., He, Q., Zhou, L., & Ma, Y. (2014). Ultra-broadband terahertz metamaterial absorber. Applied Physics Letters, 105(2), 021102.
[2] Wang, B. X., Wang, L. L., Wang, G. Z., Huang, W. Q., Li, X. F., & Zhai, X. (2014). Metamaterial-based low-conductivity alloy perfect absorber. Journal of lightwave technology, 32(12), 2293-2298.
[3] Biabanifard, S., Biabanifard, M., Asgari, S., Asadi, S., & Mustapha, C. E. (2018). Tunable ultra-wideband terahertz absorber based on graphene disks and ribbons. Optics Communications, 427, 418-425.
[4] Rahmanzadeh, M., Rajabalipanah, H., & Abdolali, A. (2018). Multilayer graphene-based metasurfaces: robust design method for extremely broadband, wide-angle, and polarization-insensitive terahertz absorbers. Applied optics, 57(4), 959-968.



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

[ Downloaded from opsi.ir on 2026-02-01 ]