بیست و ششمین کنفرانس اپتیک و
فوتونیک ایران و دوازدهمین کنفرانس
مهندسی و فناوری فوتونیک ایران،
دانشگاه خوارزمی،
تهران، ایران.
۱۵-۱۶ بهمن ۱۳۹۸

کنترل بهره و جهت تشعشع یک آنتن دوقطبی تراهرتز به وسیله نوارهای پارازیتی گرافنی

مهسا اقازاده طهرانی، راحله بصیری و احسان زارعیان جهرمی

دانشگاه صنعتی شیراز، دانشکده مهندسی برق و الکترونیک

M.tehrani@sutech.ac.ir, **r.basiri@sutech.ac.ir, zareian@sutech.ac.ir**

چکیده - بازه فرکانسی تراهرتز به محدوده فرکانس‌های بین ۰/۱ تا ۱۰ تراهرتز اطلاق می‌شود. گرافن در بازه فرکانسی تراهرتز، پاسخ‌های جالبی را در برابر امواج الکترومغناطیسی نشان می‌دهد و زمینه بسیاری از کاربردهای مخابراتی را در این بازه فراهم آورده است. در این مقاله الگویی از نوارهای گرافنی قرار داده شده بر روی زیرلایه SiO_2 و در اطراف یک آنتن دوقطبی فلزی ارائه می‌شود. در آنتن پیشنهادی، می‌توان با تنظیم پتانسیل شیمیایی نوارهای گرافنی، جهت بیشینه تشعشع و میزان بهره آنتن را کنترل کرد. آنتن پیشنهادی می‌تواند در دو فرکانس ۱ و ۱/۳ تراهرتز مورد استفاده قرار گیرد در حالی‌که قابلیت چرخش پرتو را در محدوده ۶۲- تا ۶۲ درجه فراهم می‌کند. بعلاوه، بهره آنتن در حالت‌های مختلف، بین ۱ تا ۶/۶ تغییر می‌کند.

کلید واژه- آنتن دوقطبی، باز پیکربندی، تراهرتز، چرخش پرتو، گرافن.

Control of Gain and Boresight of a Terahertz dipole Antenna by Parasitic Graphene Ribbons

Mahsa Aghazade Tehrani, Raheleh Basiri, Ehsan Zareian Jahromi

Shiraz University of Technology, Department of Electrical and Electronics Engineering,
M.tehrani@sutech.ac.ir, **r.basiri@sutech.ac.ir**, **zareian@sutech.ac.ir**

Abstract- Terahertz (THz) region includes frequencies between 0.1-10THz. Graphene has interesting features in THz frequencies making it a good candidate for utilization in THz communication systems. In this paper, a THz dipole antenna mounted on a SiO_2 layer is proposed which is loaded by some parasitic graphene ribbons. The gain and boresight of antenna are varied through variation of chemical potential of graphene ribbons. The designed antenna can be employed in two frequencies 1THz and 1.3THz whereas antenna boresight steers between -62 to 62 degrees in both of E and H planes. Moreover, the resulting linear gain is varied between 1 to 6.6.

Keywords: Beam steering, Dipole antenna, Graphene, Reconfigurable, Terahertz.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

مقدمه

در سال‌های اخیر، گرافن در کاربردهای مختلف مخابراتی و پیاده‌سازی ادوات تراهرتزگرافن به صورت چشمگیری مورد استفاده قرار گرفته است[۱]. گرافن تحت تاثیر بایاس الکتریکی، رسانندگی بالایی پیدا می‌کند که به دلیل قابلیت تنظیم‌پذیری در رنج فرکانسی تراهرتز، می‌تواند در بسیاری از کاربردهای آنتنی در این بازه فرکانسی، مورد استفاده قرار گیرد [۲-۴]. در [۲]، پهنای باند و بهره یک آنتن فرامادہ مبتنی بر گرافن افزایش یافته است. در [۳]، زاویه انحراف پرتوی اصلی توسط یک سطح فرکانس‌گزین گرافن-طلا بهبود داده شده است. در [۴] علاوه بر به کارگیری آرایه فلز-گرافن در کف ساختار، با استفاده از عناصر پارازیتی گرافنی شدت و جهت تشعشع کنترل شده است. در این مقاله الگویی از نوارهای گرافنی قرار داده شده بر روی زیرلایه SiO2 و در اطراف یک آنتن دوقطبی فلزی ارائه می‌شود که به وسیله آن می‌توان جهت تشعشع و میزان بهره آنتن را کنترل کرد.

مبانی تئوری

بخش درون‌باندی هدایت گرافن در رنج فرکانسی تراهرتز بخش غالب هدایت آن می‌باشد که از رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۵]:

$$\sigma_{intra}(\omega) = \frac{2ie^2k_BT}{\pi\hbar^2(\omega+i\gamma_c)} \ln[2\cosh(\mu_c/2e^2k_BT] \quad (۱)$$

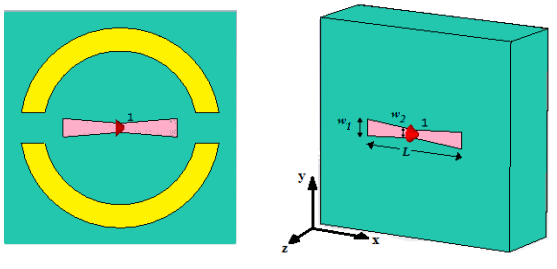
در رابطه (۱)، e بار الکترون، k_B ثابت بولتزمان، T دما بر حسب کلوین، μ_c پتانسیل شیمیایی و γ_c عکس زمان نشست است. پتانسیل شیمیایی μ_c یکی از پارامترهایی است که تغییر آن موجب تغییر میزان حامل‌های بار شده و به این وسیله میزان رسانندگی سطحی در صفحات گرافن را تغییر می‌دهد. از طرف دیگر، با توجه به رابطه (۲) مشخص است میدان الکتریکی E_ω عامل ایجاد جریان القا شده J_ω بر روی صفحه گرافن است [۵]:

$$J_\omega = \sigma(\omega)\, E_\omega \quad (۲)$$

بنابراین، E_ω عملکرد صفحات گرافنی را در یک افزاره تحت تاثیر قرار خواهد داد. آنتن ارائه شده در این مقاله نیز از این روند مستثنی نبوده و تغییر پتانسیل شیمیایی، باعث تغییر جریان القایی در قسمت‌های مختلف ساختار شده و به این وسیله، جهت پرتو اصلی و میزان بهره آنتن تغییر خواهد کرد.

طراحی آنتن پیشنهادی

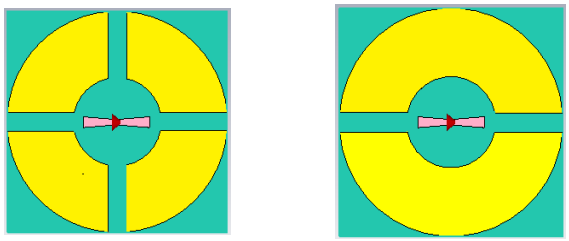
در این بخش، مراحل مختلف طراحی آنتن پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. شمای کلی آنتن در هر مرحله از تکمیل طرح در شکل ۱ آورده شده است. آنتن طراحی شده در شکل ۱-الف، یک آنتن دو قطبی فلزی است که بر روی زیرلایه SiO2 با ثابت دی الکتریک نسبی $\varepsilon_r = 3.8$ و ضخامت $50\mu m$ قرار گرفته است. ابعاد فیزیکی قسمت‌های مختلف آنتن به صورت $w_1 = 12\mu m$، $w_2 = 6\mu m$ و $L = 74\mu m$ است. در مرحله بعد، دو نوار نیم دایره‌ای با پهنای $15\mu m$ و از جنس گرافن به عنوان دو عنصر پارازیتی در مجاورت آنتن دو قطبی قرار داده شده است (شکل ۱-ب). سپس پهنای نوارهای گرافنی تغییر داده شده و درنهایت دو نوار با عرض $75\mu m$ به عنوان پهنای مناسب انتخاب شده است (شکل ۱-پ). در طراحی نهایی، به منظور افزایش درجه آزادی در چرخش پرتو و تغییر بهره، چهار نوار ربع دایره مجزا با پهنای $75\mu m$ در اطراف آنتن دوقطبی در نظر گرفته شده است.



الف ب

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

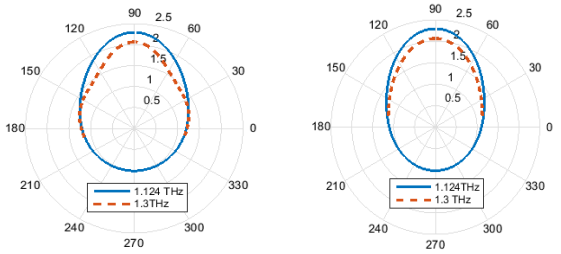


ت پ

شکل ۱: مراحل مختلف طراحی آنتن پیشنهادی، الف) دوقطبی فلزی تنها، ب) آنتن دوقطبی با بارگذاری دو نوار گرافن با پهنای $15\mu m$ ، پ) آنتن دوقطبی با بارگذاری دو نوار گرافن با پهنای $75\mu m$، ت) طرح نهایی با چهار نوار ربع دایره گرافنی مجزا با پهنای $75\mu m$

بررسی نتایج شبیه‌سازی

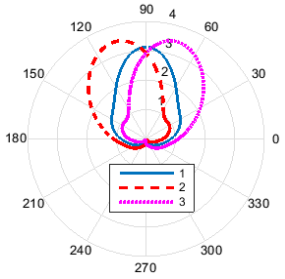
نتایج شبیه‌سازی برای ساختارهای مختلف نشان داده شده در شکل ۱ در این بخش مورد بررسی قرار می‌گیرد. شرایط مرزی در نرم‌افزار **CST**، به صورت باز و درگاه ورودی از نوع درگاه مجزا است. آنتن پیشنهادی در محدوده فرکانسی 0.85THz تا 1.35THz دارای تلفات بازگشتی کمتر از -10dB است. نمودار الگوی تشعشعی آنتن شکل ۱-الف در دو صفحه $\mathrm{E}(\boldsymbol{\varphi = 0})$ و $\mathrm{H}(\boldsymbol{\varphi = 90^{\circ}})$ و برای دو فرکانس 1.124THz و 1.3THz، در شکل ۲ نشان داده شده است. دلیل تغییر شکل الگو در دو فرکانس متفاوت بودت توزیع جریان بر روی ساختار دوقطبی در آنهاست.



ب الف

شکل ۲: (الف) الگوی تشعشعی در صفحه E و (ب) الگوی تشعشعی در صفحه H آنتن شکل ۱-الف در دو فرکانس کاری ۱/۱۲۴ و ۱/۳ تراهرتز

نتایج شبیه‌سازی پس از اضافه کردن دو نوار گرافنی با عرض $\boldsymbol{15\mu m}$ (شکل ۱-ب)، در شکل ۳ و برای سه حالت مختلف ۱، ۲ و ۳ که به ترتیب مربوط به زمانی است که هر دو گرافن پتانسیل شیمیایی صفر، بالا یک و پایین صفر و بالعکس باشند، نشان داده شده است. با وجود تغییر در میزان تلفات بازگشتی، همچنان آنتن در فرکانس 1.3THz از تطبیق مناسبی برخوردار است. الگوی تشعشعی در صفحه H و برای فرکانس 1.3THz نشان داده شده است.



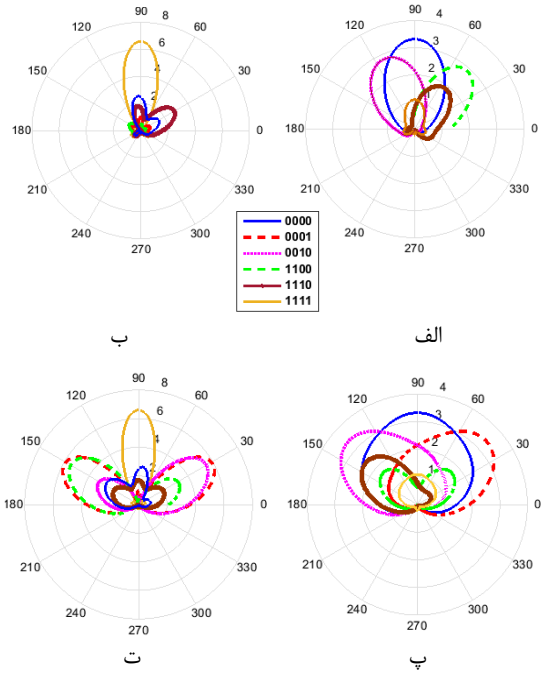
شکل ۳: الگوی تشعشعی آنتن شکل ۱-ب در صفحه $\varphi =$ 90° درحالت‌های ۱، ۲ و ۳ در فرکانس ۱/۳ تراهرتز

نتایج شکل (۳) نشان می‌دهد اعمال پتانسیل شیمیایی ۱ به هرکدام از گرافن‌ها بهبود بهره را به همراه داشته است. این مساله را می‌توان همانند عملکرد نوارهای اضافی در آنتن‌های یاگی یودا توجیه نمود. این نوارها می‌توانند به عنوان جهت‌دهنده مورد استفاده قرار بگیرند. در ضمن روشن کردن هر کدام از گرافن‌ها باعث چرخش پرتو در صفحه H، شده است و زاویه انحراف پرتو اصلی به سمت گرافن خاموش هدایت شده است. با افزایش پهنای نوار، پرتو تشعشعی در صفحه H باریک‌تر و بهره آنتن افزایش می‌یابد. مقدار بهره در فرکانس 1.3THz و برای سه مقدار متفاوت پهنای نوار $\boldsymbol{15\mu m}$، $\boldsymbol{30\mu m}$ و $\boldsymbol{75\mu m}$ به ترتیب ۳/۴۷، ۴/۵۷ و ۴/۷ است. بنابراین نوارهای با عرض $\boldsymbol{75\mu m}$ در طرح سوم انتخاب می‌شوند. همچنین دیده می‌شود با روشن و خاموش نمودن گرافن‌های بالا و پایین، جهت بیشینه پرتو آنتن تغییر می‌کند و باعث می‌شود پرتو در صفحه H چرخش داشته باشد. به علاوه بهره ساختار نیز تحت تاثیر پتانسیل شیمیایی قرار دارد. در مرحله نهایی با افزایش تعداد نوارهای گرافنی درجه آزادی بیشتری برای چرخش پرتو در دو صفحه E و H و همچنین تغییر میزان بهره آنتن ایجاد شده است (شکل ۱-ت). تاثیر اعمال پتانسیل شیمیایی ۱ به هر کدام از نوارها بر الگوی تشعشعی ساختار در شکل ۴

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]

نشان داده شده است. همچنین به منظور مقایسه بهتر نتایج، میزان بهره و جهت بیشینه تشعشع در صفحات E و H، در جدول ۱ گزارش شده است.



شکل ۴: نتایج شبیه‌سازی آنتن شکل(۱-ت)، الف و ب) نمودار الگوی تشعشعی در فرکانس تشدید 1THz، پ و ت) در فرکانس تشدید 1.3THz و به ترتیب در صفحات E و H

جدول ۱: زاویه انحراف و بهره برای آنتن شکل ۱-ت و برای حالت‌های مختلف روشن و خاموش نوارهای گرافنی

حالت	زاویه انحراف و بهره در 1THz (صفحه E)	زاویه انحراف و بهره در 1THz (صفحه H)	زاویه انحراف و بهره در 1.3THz (صفحه E)	زاویه انحراف و بهره در 1.3THz (صفحه H)
۰۰۰۰	0 / 3.32	0 / 3.32	0 / 0.97	62R / 5.92
۰۰۰۱	23R / 2.82	48R / 3.4	62R / 0.95	60R / 5.49
۰۰۱۰	23L / 2.82	48L / 3.4	62L / 0.95	60L / 5.49
۱۱۰۰	41R / 2.88	47R / 1.69	59R / 2.86	61R / 1.99
۱۱۱۰	36R / 1.88	52L / 2.41	4L / 2.54	55L / 2.7
۱۱۱۱	0 / 1.09	0 / 1.09	0 / 6.6	0 / 6.6

در این حالت با استفاده از نوارهای گرافنی، می‌توان الگو و جهت تشعشع را در هر دو صفحه E و H چرخاند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد جهت پرتو به سمت گرافن‌های خاموش هدایت می‌شود چرا که گرافن‌های روشن مانند فلز و شبیه یک جهت‌دهنده در آنتن‌های یاگی یودا عمل می‌کنند. به عنوان مثال، با توجه به نتایج شکل ۴ و جدول ۱، الگوی تشعشعی در صفحه E و H برای دو ترکیب ۰۰۰۱ و ۰۰۱۰ در فرکانس 1.3THz بر عکس یکدیگر است که قابلیت انحراف پرتو را به سمت راست و چپ در هر دو صفحه ایجاد کرده است.

نتیجه گیری

در این مقاله، یک آنتن دوقطبی در محدوده فرکانسی ۱ تا ۱/۵ تراهرتز طراحی شده است. تعدادی نوار گرافنی پارازیتی در چند مرحله به اطراف آنتن اضافه شده است. با استفاده از تغییر پتانسیل شیمیایی عناصر گرافنی و تاثیر میدان الکتریکی یک دوقطبی، جهت تشعشع پرتوی اصلی دوقطبی و بهره تغییر داده شده است. نتایج شبیه‌سازی طراحی نهایی نشان می‌دهد آنتن پیشنهادی قابلیت عملکرد در دو فرکانس ۱ و ۱/۳ تراهرتز را دارا است. به علاوه با تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن‌ها، می‌توان زاویه انحراف پرتو را بین ۶۲- تا ۶۲ درجه تغییر داد. همچنین بهره آنتن بین ۱ تا ۶/۶ قابل تغییر خواهد بود که نشان‌دهنده تغییر شکل الگوی آنتن از حالت همه جهته به جهتی است. ساختار ارائه شده علاوه بر آنکه چرخش پرتوی بیشتری نسبت به مراجع [۳] و [۴] ایجاد کرده است، از عناصر تداخلی بر روی زیرلایه استفاده کرده که بنابراین نیاز به لایه اضافی مانند [۳] ندارد.

مرجع‌ها

[1] D. Cooper, B. Anjou, “Experimental Review of Graphene”. ISRN Condensed Matter Physics, pp. 1–56, 2012.
[2] A. Radwan, M.D Amico, “Bandwidth and gain enhancement of a graphene-based metamaterial antenna for the THz band”, ARPN Journal of Engineering and Sciences, vol.11, No.10, pp. 6349-6354, 2016.
[3] B. WU, Y. HU, “Large angle beam steering THz antenna using active frequency selective surface based on hybrid graphene-gold structure”, Optics Express, vol.26, No.12, pp. 15353-15361, 2018.
[4] F. Liang, Z. Yang, "Beam-scanning microstrip quasi-Yagi–Uda antenna based on hybrid metal-graphene materials." IEEE Photonics Technology Letters, vol. 30, No.12, 1127-1130, 2018.
[5] R.A.Depin Electromagnetics of graphene: Graphene Optics, p.1-1, IOP Concise physic, 2016.

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

[Downloaded from opsi.ir on 2026-11-19]