بیست و سومین کنفرانس اپتیک و فوتونیک و نهمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
دانشگاه تربیت مدرس
۱۲-۱۴ بهمن ۱۳۹۵
23rd Iranian Conference on Optics and Photonics and 9th Conference on Photonics Engineering and Technology
Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
January 31- February 2, 2017

نهان‌سازی تنظیم پذیر در حوزه تراهرتز با استفاده از فراسطوح گرافنی

راضیه عسکری[۱]، داوود فتحی[۲]
[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس,razieh.askari@modares.ac.ir
[۲]استادیار دانشگاه تربیت مدرس ،d.fathi@modares.ac.ir

چکیده – در این مقاله یک طراحی جدید از نهان‌ساز با استفاده از فراسطوح خیلی نازک که متشکل از دو لایه گرافن با الگوی متناوب می‌باشد، ارائه شده است. جسم مورد نظر نهان‌سازی در این ساختار یک استوانه هادی با طول بینهایت است. نتایج شبیه‌سازی تمام‌موج نشان داده است که با استفاده از این ساختار در دو فرکانس می‌توان نهان‌سازی را مشاهده کرد. در حالی که استفاده از یک لایه فراسطح، در یک نقطه این خاصیت را مشاهده می‌کنیم. این ساختار تنظیم‌پذیر است چراکه با تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن می‌توان فرکانس نهان‌سازی را جابه‌جا کرد.

کلید واژه - تنظیم‌پذیری، فراسطح ، گرافن، نهان‌سازی

Tunable cloaking with graphene metasurface in Terahertz

Razieh Askari[1], Davoud Fathi[2]

[1]M.Sc student of Tarbiat Modares university ,razieh.askari@modares.ac.ir
[2]Assistant Professor of Tarbiat Modares university, d.fathi@modares.ac.ir

Abstract- In this paper we propose a new design of mantle cloak using a bilayer nanostructured grapheme metasurface at low-terahetz frequencies. The object that we cloaked it, is an infinit conducting cylinder.The result of our simulation showed that with using of bilayer structure, we have two frequency band at terahertz for cloaking. whereas with monolayer mantle cloak, that we have one band for cloaking. This structure is tunable because by varying the chemical potential of graphene, the frequency of cloaking is shifted.

Keywords- cloaking, graphene, metasurface, tunability

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-13]

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

۱-مقدمه

پیشرفت در زمینه ساخت مواد در محدوده نانو موجب معرفی مواد مصنوعی با خواص الکترو مغناطیسی که در طبیعت وجود ندارند شده است. که به فراموا‌د مشهور شده اند .[1] در چند سال اخیر پژوهش های بسیاری در این حوزه انجام پذیرفته است. یکی از زمینه های مورد مطالعه طراحی و ساخت نهان سازها بوده است، که توجه زیادی را به خود جلب کرده است. نهان سازی در حالت کلی عبارتست از حذف پراکندگی از یک جسم داخواه با بهره گیری از یک پوشش که موجب حذف پراکندگی از تمامی زوایا و برای میدان های دور و نزدیک شود. نامرئی سازی شناخته شده ترین کاربرد این ساختارهاست، با این حال کاربردهای متنوع دیگری از جمله حسگرهای غیر مخرب، حسگرهای زیستی و تصویربرداری را داراست [2].

جان پندری در سال۲۰۰۶ پوششی را معرفی کرد که به صورت یک استوانه توخالی در اطراف جسم قرار می گرفت و جسم از دیدگاه موج صفحه ای نامرئی میشد [3]. این پوشش از فرامادهای تشکیل شده است که یک محیط ناهمسانگرد است که باعث می شود موج حول جسم خم شود. پس از این، پیاده سازی این طرح در حوزه فرکانس‌های میکروویو انجام پذیرفت ودر سال‌های بعد انبوهی از مطالعات وپژوهش‌ها در این زمینه صورت گرفت که موجب معرفی ساختارها و روش‌های نهان سازی گوناگونی شد که امکان نهان‌سازی را در فرکانس های تراهرتز و نوری را محقق ساخت وهمچنین ساختارهایی که پیاده سازی انها راحت تر است.

یکی از روشهایی که معرفی شده است نهان سازی پلاسمونیک است. مکانیزم نهان‌سازی در این روش بر این پایه است که پراکندگی های جسم و پوشش همدیگر را خنثی می کنند. این کار با به کار گیری مواد با ضریب گذردهی الکتریکی کوچکتر از یک و یا منفی قابل انجام است. یکی دیگر از روش های نوین، نهان سازی با استفاده از ساختارهای پوسته ای است. در این روش بر خلاف سایر روش ها که بر پایه فرامواد حجمی است، با استفاده از فراسطوح خیلی نازک نهان‌سازی محقق میشود.

گرافن نیز در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرارگرفته به طوری که حجم وسیعی از پژوهش‌ها را شامل می‌شود. در مرجع[4] با استفاده از گرافن تک‌لایه در یک ساختار استوانه‌ای نهان‌سازی در فرکانس‌های تراهرتز پایین محقق شده است. پس از ان در سال۲۰۱۳ با استفاده از فراسطح الگودهی شده گرافنی نهان ساز تنظیم پذیر معرفی شد [5]. در این مقاله نشان می دهیم که استفاده از ساختار دولایه ای فراسطح گرافنی در یک ساختار استوانه ای چگونه موجب ایجاد دو باند برای نهان‌سازی هادی الکتریکی می‌شود.

۲-روش ها و تئوری

۲-۱- مدلسازی گرافن

مدل کوبو برای هدایت الکتریکی گرافن درنظر گرفته شده است که از دو بخش اینترباند و اینتراباند تشکیل شده است [2].

$$\sigma_s = \sigma_{intra} + \sigma_{inter} \quad (۱)$$

$$\sigma_{intra} = -j\frac{k_B e^2 T}{\pi\hbar^2(\omega + 2i\Gamma)}\left(\frac{\mu}{Tk_B} + 2ln\left(e^{-\frac{\mu}{Tk_B}} + 1\right)\right) \quad (۲)$$

$$\sigma_{d,inter} = \frac{ie^2}{4\pi\hbar} ln\left(\frac{2|\mu| - (\omega + 2i\Gamma)\hbar}{2|\mu| + (\omega + 2i\Gamma)\hbar}\right) \quad (۳)$$

که در این رابطه $\hbar$ ثابت پلانک تقلیل یافته, μ پتانسیل شیمیایی گرافن، τ زمان استراحت،T دمای مطلق و k_B ثابت بولتزمن می‌باشد. در اینجا گرافن کم اتلاف با τ=5ps و T=300K مدلسازی شده است. پتانسیل شیمیایی گرافن نیز با قدر مطلق کمتر از یک می‌باشد که با توجه به اندازه ولتاژ ورودی مقدار آن تغییر می کند.

در مرجع[6] نشان داده شد که یک آرایه متناوب از گرافن خاصیت دوگانه سلفی- خازنی در حوزه تراهرتز از خود

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

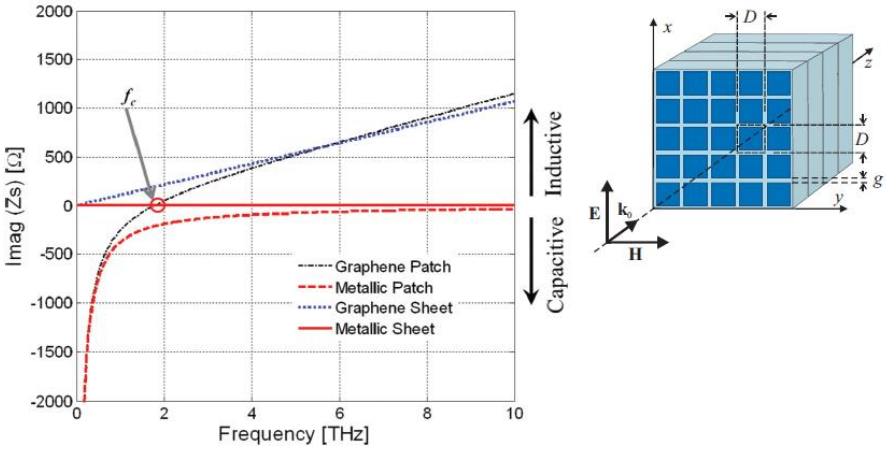
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-13]

نشان می دهد که از رابطه زیر امپدانس سطحی Z_s برای ارایه متناوب گرافن محاسبه می شود.

$$Z_s = R_s + jX_s \quad (۴)$$

$$Z_s = \frac{D}{(D-g)\sigma_s} - j\frac{\pi}{2w\left(\frac{\varepsilon_{2+1}}{1}\right)\varepsilon_0 D\, ln\left[csc\left(\frac{\pi g}{2D}\right)\right]} \quad (۵)$$

در این رابطه D تناوب و g گاف را نشان می‌دهد. همچنین ε_2 گذردهی الکتریکی لایه دی الکتریک را نشان می‌دهد. شکل۱ امپدانس سطحی ارایه متناوب گرافن در مقایسه با گرافن ساده و ارایه های فلزی نشان می دهد.



شکل۱- ساختار متناوب گرافن و مقایسه امپدانس سطحی آن با گرافن ساده و ساختار متناوب فلزی **[6]**.

2-۲-مسئله سطح مقطع پراکندگی

نسبت موج انتقالی از ماده و موج پراکنده شده مشخص کننده موقعیت جسم و جنس جسم و حتی حرکت آن است. و بحث پراکندگی کاربرد فراوان در هواشناسی، پزشکی، انتشار امواج و مسائل نظامی دارد و بسیار پراهمیت می‌باشد. میدان پراکنده شده در ناحیه میدان دور مانند یک موج کروی عمل می‌کند. سطح مقطع پراکندگی از رابطه زیر بدست می‌آید [7].

$$\sigma_s = \frac{\oint_{S_0} Re(\frac{1}{2}E_s \times H_s^*).da}{|S_i|} \quad (٦)$$

در این رابطه S_0 سطح دلخواهی حول جسم و S_i توان موج ورودی، E_s میدان الکتریکی پراکنده شده و H_s میدان مغناطیسی پراکنده شده می‌باشد. da المان این سطح و رو به بیرون می‌باشد. واحد سطح مقطع پراکندگی m^2 می‌باشد.

۳-نتایج و بحث

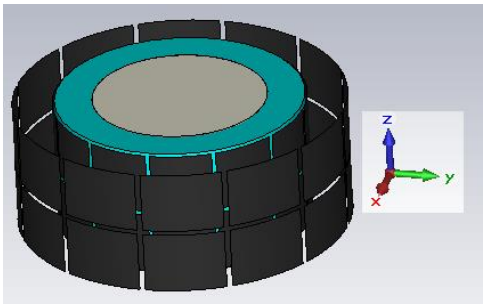
در اینجا به وسیله شبیه سازی تمام موج، سطح مقطع پراکندگی محاسبه شده و نتایج زیر حاصل شده اند.

جسم مورد نظر نهان سازی یک استوانه هادی الکتریکی با طول بینهایت است. شعاع هادی برابر 10μm می‌باشد. شکل ۲ این ساختار را به همراه دو لایه فراسطح نازک گرافنی نشان می دهد. این ساختار در راستای z بی‌نهایت می‌باشد. همچنین برای جلوگیری ازاتصال کوتاه الکتریکی، یک جدا کننده دی الکتریک با ضریب گذردهی 4، بین هادی و لایه گرافنی قرار داده شده است. در این ساختار D1=7.2μm و g=0.5μm و D2=10μm که به ترتیب دوره تناوب لایه اول ، گاف هوایی و دوره تناوب لایه دوم می‌باشند. همچنین پتانسیل شیمیایی در لایه اول برابر0.58eV و در لایه دوم برابر 0.75eV تنظیم شده است. شکل۳ سطح مقطع راداری را در واحد dB برای یک هادی در حضور پوشش دو لایه و تک لایه و همچنین بدون

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

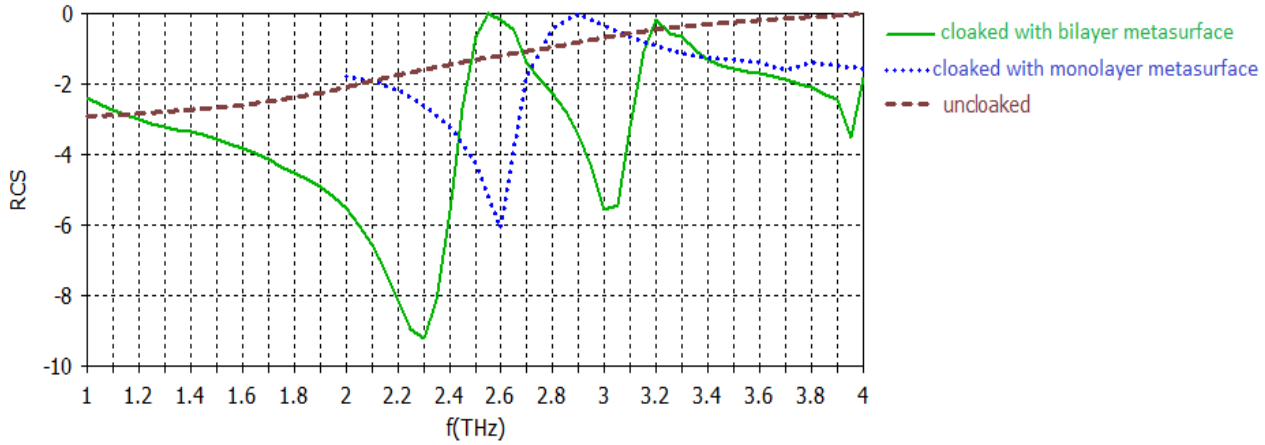
[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-13]

حضور پوشش نشان داده است.



شکل۲-ساختار هادی الکتریکی بینهایت که با دولایه فراسطح گرافنی پوشش داده شده است.

در نهان سازی با فراسطح تک لایه پتانسیل شیمیایی گرافن برابر0.58eV تنظیم شده است. همانطور که مشاهده میکنیم در فراسطح تک لایه در فرکانس 2.6THz کمترین پراکندگی و بنابرین نهان سازی را داریم. و همچنین برای فراسطح دو لایه در دو فرکانس 2.3THz و 3THz کمترین پراکندگی را مشاهده میکنیم و در نتیجه دو باند برای نهان سازی خواهیم داشت. فرکانس نهان‌سازی با تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن قابل تنظیم است.



شکل۳-سطح مقطع راداری برای سه حالت بدون کلوک ,کلوک تک لایه و کلوک دو لایه

۴-نتیجه گیری

در این مقاله از دولایه فراسطح متشکل از آرایه‌ی متناوب خیلی نازک گرافنی، استفاده شده و نهان‌سازی تنظیم پذیر در محدوده تراهرتز محقق شده است. جسم مورد نظر نهان‌سازی، یک هادی الکتریکی استوانه‌ای با طول بینهایت است. نتایج شبیه سازی تمام موج نشان داده است که استفاده از چنین ساختاری برای نهان‌سازی منجر به ایجاد دو باند می‌شود که در آنها پراکندگی به حداقل ممکن می‌رسد.

۵-مراجع

[1] Wenshan Cai.et al, "Optical cloaking with metamaterials," *Nature photonics*, vol. 1, 2007.

[2] Alexander B. Yakovlev Ali Forouzmand, "Electromagnetic Cloaking of a Finite Conducting Wedge With a Nanostructured Graphene Metasurface," *IEEE Transactions on antenas and propagation*, vol. 63, 2015.

[3] J. B., D. Schurig, and D. R. Smith Pendry, "Controlling electromagnetic fields," *Science*, vol. 315, 2006.

[4] Pai-Yen Chen and Andrea Alu, "Atomically Thin Surface Cloak Using Graphene Monolayers," *ACS Nano*, vol. 5, no. 7, pp. 5855–5863, 2011.

[5] P. Y. Chen et al, "Nanostructured graphene metasurface for tunable," *New. J. Phys*, vol. 15, p. 123029, 2013.

[6] Y. R. Padooru et al, "Dual capacitive-inductive nature of periodic graphene patches: Transmission characteristics at low THz frequencies," *Phys. Rev. B*, vol. 87, p. 115401, 2013.

[7] JoopW. Hovenier,Larry D. Travis Michael I. Mishchenko, *Light Scattering by Nonspherical Particles*.: Academic Press, 2000.

این مقاله به شرط در دسترس بودن در وبگاه www.opsi.ir معتبر است.

[Downloaded from opsi.ir on 2026-02-13]