



نهان سازی تنظیم پذیر در حوزه تراهرتز با استفاده از فراسطوح گرافنی

راضیه عسکری^۱، داوود فتحی^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، razieh.askari@modares.ac.ir

^۲استادیار دانشگاه تربیت مدرس، d.fathi@modares.ac.ir

چکیده - در این مقاله یک طراحی جدید از نهان ساز با استفاده از فراسطوح خیلی نازک که متشکل از دو لایه گرافن با الگوی متناوب می باشد، ارائه شده است. جسم مورد نظر نهان سازی در این ساختار یک استوانه هادی با طول بینهایت است. نتایج شبیه سازی تمام موج نشان داده است که با استفاده از این ساختار در دو فرکانس می توان نهان سازی را مشاهده کرد. در حالی که استفاده از یک لایه فراسطح، در یک نقطه این خاصیت را مشاهده می کنیم. این ساختار تنظیم پذیر است چراکه با تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن می توان فرکانس نهان سازی را جابه جا کرد. کلید واژه - تنظیم پذیری، فراسطح، گرافن، نهان سازی

Tunable cloaking with graphene metasurface in Terahertz

Razieh Askari¹, Davoud Fathi²

¹M.Sc student of Tarbiat Modares university, razieh.askari@modares.ac.ir

²Assistant 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

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 سال ۲۰۰۶ 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 فراماده ای 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 فرکانس های میکروویو انجام پذیرفت و در سال های بعد انبوهی از مطالعات و پژوهش ها در این زمینه صورت گرفت که موجب معرفی ساختارها و روش های نهان سازی گوناگونی شد که امکان نهان سازی را در فرکانس های تراهرتز و نوری را محقق ساخت و همچنین ساختارهایی که پیاده سازی آنها راحت تر است.

یکی از روشهایی که معرفی شده است نهان سازی پلاسمونیک است. مکانیزم نهان سازی 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 نهان سازی محقق میشود.

گرافن نیز در سال های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته به طوری که حجم وسیعی از پژوهش ها را شامل می شود. در مرجع [4] با استفاده از گرافن تک لایه در یک ساختار استوانه ای نهان سازی در فرکانس های تراهرتز پایین محقق شده است. پس از آن در سال ۲۰۱۳ 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 نهان سازی هادی الکتریکی می شود.

۲-روش ها و تئوری

۲-۱- مدلسازی گرافن

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

$$\sigma_s = \sigma_{intra} + \sigma_{inter} \quad (1)$$

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

$$\sigma_{d,inter} = \frac{ie^2}{4\pi\hbar} \ln \left(\frac{2|\mu| - (\omega + 2i\Gamma)\hbar}{2|\mu| + (\omega + 2i\Gamma)\hbar} \right) \quad (3)$$

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

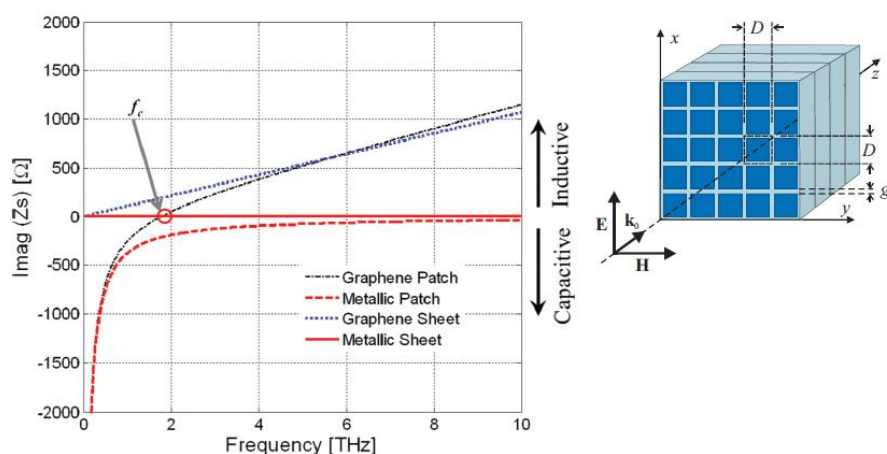
در مرجع [6] نشان داده شد که یک آرایه متناوب از گرافن خاصیت دوگانه سلفی- خازنی در حوزه تراهرتز از خود

در این رابطه D تناوب و g گاف را نشان می‌دهد. همچنین 2ϵ گذردهی الکتریکی لایه دی الکتریک را نشان می‌دهد. شکل ۱ امپدانس سطحی ارایه متناوب گرافن در مقایسه با گرافن ساده و ارایه های فلزی نشان می‌دهد.

نشان می‌دهد که از رابطه زیر امپدانس سطحی Z_s برای ارایه متناوب گرافن محاسبه می‌شود.

$$Z_s = R_s + jX_s \quad (4)$$

$$Z_s = \frac{D}{(D-g)\sigma_s} - j \frac{\pi}{2w \left(\frac{\epsilon_2+1}{1} \right) \epsilon_0 D \ln \left[\csc \left(\frac{\pi g}{2D} \right) \right]} \quad (5)$$



شکل ۱- ساختار متناوب گرافن و مقایسه امپدانس سطحی آن با گرافن ساده و ساختار متناوب فلزی [6]

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].

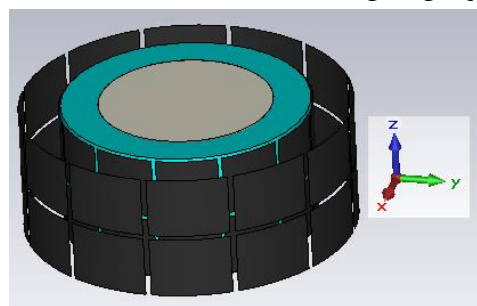
$$\sigma_s = \frac{\oint_{S_0} \operatorname{Re} \left(\frac{1}{2} E_s \times H_s^* \right) \cdot da}{|S_i|} \quad (6)$$

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.

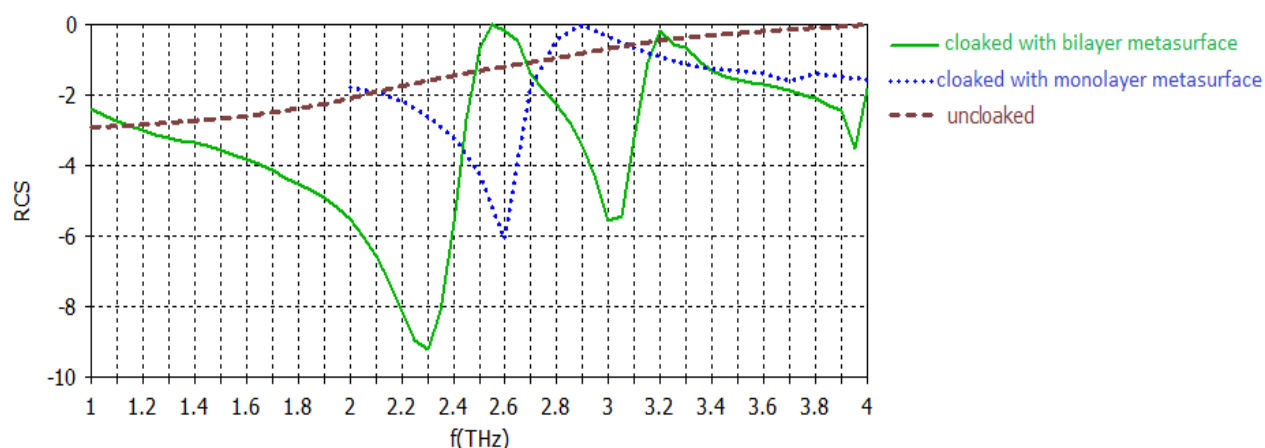
۳- نتایج و بحث

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 $10\mu m$ می‌باشد. شکل ۲ این ساختار را به همراه دو لایه فراسطح نازک گرافنی نشان می‌دهد. این ساختار در راستای z بی‌نهایت می‌باشد. همچنین برای جلوگیری از اتصال کوتاه الکتریکی، یک جدا کننده دی الکتریک با ضریب گذردهی ۴، بین هادی و لایه گرافنی قرار داده شده است. در این ساختار $D_1=7.2\mu m$ و $g=0.5\mu m$ و $D_2=10\mu m$ که به ترتیب دوره تناوب لایه اول، گاف هوایی و دوره تناوب لایه دوم می‌باشند. همچنین پتانسیل شیمایی در لایه اول برابر $0.58eV$ و در لایه دوم برابر $0.75eV$ تنظیم شده است. شکل ۳ سطح مقطع راداری را در واحد dB برای یک هادی در حضور پوشش دو لایه و تک لایه و همچنین بدون

در نهان سازی با فراسطح تک لایه پتانسیل شیمیایی گرافن برابر 0.58eV تنظیم شده است. همانطور که مشاهده میکنیم در فراسطح تک لایه در فرکانس 2.6THz کمترین پراکندگی و بنابراین 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 نهان سازی با تغییر پتانسیل شیمیایی گرافن قابل تنظیم است.



شکل ۲- ساختار هادی الکتریکی بینهایت که با دولایه فراسطح گرافنی پوشش داده شده است.



شکل ۳- سطح مقطع راداری برای سه حالت بدون کلوک، کلوک تک لایه و کلوک دو لایه

Graphene Metasurface," *IEEE Transactions on antennas 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] Joop W. Hovenier, Larry D. Travis Michael I. Mishchenko, *Light Scattering by Nonspherical Particles*.: Academic Press, 2000.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله از دولایه فراسطح متشکل از آرایه‌ی متناوب خیلی نازک گرافنی، استفاده شده و نهان سازی تنظیم پذیر در محدوده ترانزیر محقق شده است. جسم مورد نظر نهان سازی، یک هادی الکتریکی استوانه‌ای با طول بینهایت است. نتایج شبیه سازی تمام موج نشان داده است که استفاده از چنین ساختاری برای نهان سازی 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