

Estudo de Nanoantenas Patch de Grafeno na Faixa de Terahertz

Gustavo L. Silvano e Karlo Q. da Costa

Resumo—A demanda para se alcançar faixas de frequências cada vez maiores acabam por produzir diversas pesquisas. De fato, pesquisadores recentes conseguiram isolar folhas de grafeno de modo que características únicas começaram a ser observadas. Muitas aplicações podem ser obtidas com a utilização de grafeno, entre elas temos a construção de nanoestruturas ressonantes na faixa de THz. Esse artigo irá estudar a seção reta de absorção de quatro estruturas de grafeno, variando sua dimensão, com o objetivo de estudar suas ressonâncias.

Palavras-Chave—Grafeno, THz, nanoantenas.

Abstract—The demand to reach frequency bands even greater is producing lots of researches. In fact, researchers recently succeeded in isolating a sheet of graphene, in a way that unique characteristics started to be observed. Many applications can be achieved with the utilization of graphene, between them we have the construction of nanostructures resonant in the THz band. This article will study the cross-section absorption of four structures of graphene, ranging its dimension, with the objective of study its resonance.

Keywords—Graphene, THz, nanoantennas.

I. INTRODUÇÃO

Estruturas compostas de grafeno vêm sendo alvo de várias pesquisas pelo mundo. De fato, as possibilidades provenientes de tal material são bem promissoras e irão alterar várias áreas, como a física, uma vez que diversos fenômenos físicos podem ser melhores estudados graças ao grafeno, e a eletrônica, onde diversas aplicações, como transistores de altíssima velocidade que prometem levar a velocidade de processamento para a faixa de THz [1] e por fim a geração de energia, onde placas solares transparentes de alta eficiência podem ser concebidas [2].

O grafeno nada mais é do que uma "folha" de átomos de carbono, de duas dimensões, com a espessura de um átomo, ou seja, eles se encontram dispostos lado a lado, em uma distribuição hexagonal, não havendo empilhamento. De fato, uma folha completamente isolada de grafeno é algo muito difícil de ser encontrado, porém novas técnicas convergem para tal.

Nesse artigo, antenas de grafeno serão estudadas, onde se terão quatro estruturas básicas: em forma de retângulo, de elipse, de círculo e de triângulo. Será calculada a seção reta de absorção (σ_{abs}) para cada estrutura através de uma análise paramétrica onde se irá variar o comprimento L , com a finalidade de se observar a variação da seção reta de absorção de modo a sintonizar a ressonância da estrutura de acordo com sua dimensão. Em seguida será analisada a distribuição de

corrente de cada estrutura, através de um gráfico bidimensional, onde foi utilizada a frequência de ressonância.

II. DESENVOLVIMENTO TEÓRICO

As dimensões das estruturas construídas estão presentes na Fig. 1. Pode-se perceber que a dimensão L é constante para todas as estruturas e ela irá variar em 5, 3, 1 e 0.5 μm , sendo que para as antenas retangulares e elípticas não houve convergência para a simulação de 0,5 μm devido a incapacidade computacional disponível.

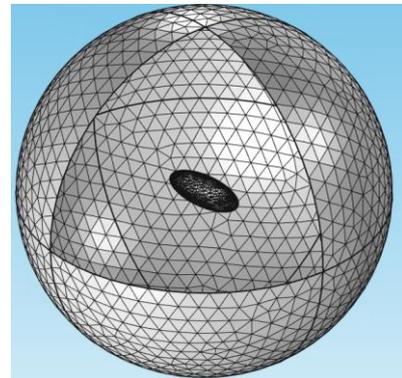


Fig. 1. Geometrias triangulares, circulares, retangulares e elípticas das nanoantenas de grafeno analisadas. As antenas são irradiadas por uma onda plana polarizada ao longo da dimensão L com incidência normal.

A variação da dimensão W irá acompanhar diretamente a variação de L , de modo que, para a simulação da estrutura retangular e elíptica, obedecerá a proporção de $2 \cdot L$.

O grafeno é modelado nas simulações através de sua condutividade. Porém como estamos falando de uma estrutura de duas dimensões, tal característica passa a ser anisotrópica, variando somente nos eixos X e Y , e em Z é nula. A equação da condutividade foi retirada de [3].

Para as simulações realizadas será utilizado o software COMSOL 4.2a. A Fig. 2 mostra a implementação das estruturas no programa, onde se tem presente também a malha de cada estrutura.

O ambiente onde as antenas se encontram é definido por uma esfera de ar com raio de $4 \cdot L$, onde foi aplicada a condição de espalhamento nas fronteiras. Como o COMSOL se baseia no método dos elementos finitos, se torna necessário a criação de uma malha. O valor médio da quantidade de elementos em cada malha é de 400.000, sendo esse o máximo obtido pelas máquinas utilizadas. Com isso, as simulações variavam de 1h e 30min a 2h.

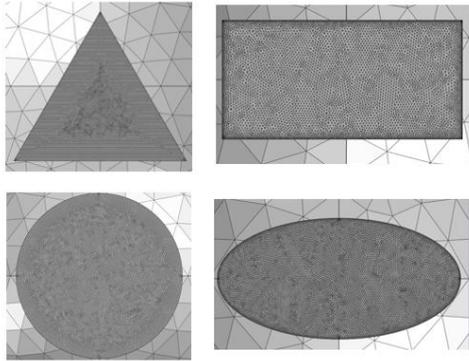


Fig. 2. Implementação no software COMSOL 4.2a das geometrias propostas.

III. RESULTADOS

O resultado das simulações é a seção reta de absorção, mostradas na Fig. 3 e 4. Além disso, se tem presente a distribuição de corrente na ressonância para todas as estruturas onde $L = 5 \mu\text{m}$.

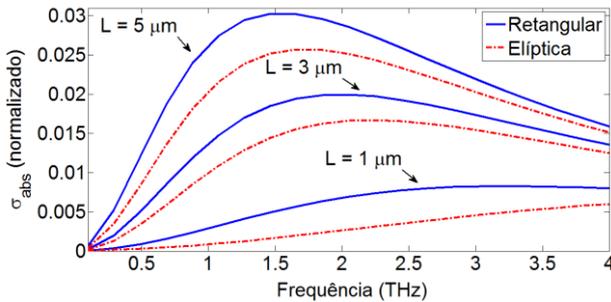


Fig. 3. Seção reta de absorção obtido para a antena retangular e elíptica, onde o L foi variado em 5, 3 e 1 μm , sendo $W = 2 \cdot L$. As linhas azuis sólidas são obtidas através de um programa desenvolvido no Matlab utilizando o MoM, já as circunferências vermelhas são obtidas pelo COMSOL.

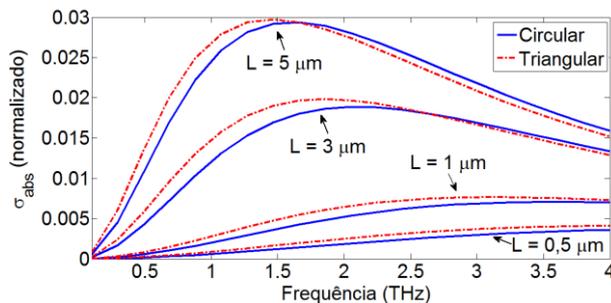


Fig. 4. Seção reta de absorção obtido para a antena triangular e circular, onde o L foi variado em 5, 3, 1 e 0,5 μm . As linhas azuis sólidas são obtida através de um programa desenvolvido no Matlab utilizando o MoM, já as circunferências vermelhas são obtidas pelo COMSOL.

Com os resultados obtidos, percebe-se que a variação do σ_{abs} varia bastante com a mudança da dimensão. De fato, observou-se que as estruturas menores apresentavam uma redução do seu valor de σ_{abs} , além de uma mudança da frequência de ressonância para valores maiores.

Na Fig. 5 é mostrado a corrente induzida para as frequências de ressonância de cada estrutura. Pode-se perceber que o valor da frequência é bastante próximo entre as estruturas, o que está certo uma vez que elas possuem a mesma dimensão.

A Tabela I mostra uma comparação entre os valores de ressonância obtido para cada estrutura onde se tem presente os valores calculados pelo COMSOL e pelo MoM [4].

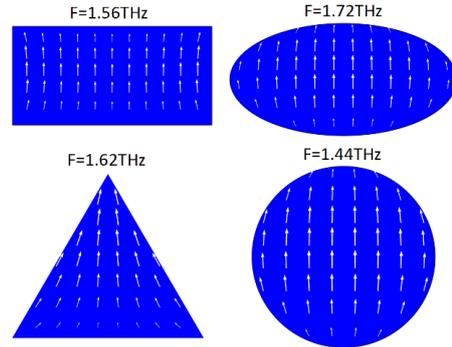


Fig. 5. Geometrias triangulares, circulares, retangulares e elípticas das nanoantenas de grafeno analisadas. As antenas são irradiadas por uma onda plana polarizada ao longo da dimensão L com incidência normal.

TABELA I. VALORES DE RESSONÂNCIA OBTIDOS PARA AS QUATRO GEOMETRIAS E PARA CADA VALOR DE L. ESTÃO PRESENTES RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DO COMSOL E DO MoM [4].

		Triangular	Circular	Elíptica	Retangular
5 [μm]	COMSOL	1,46	1,66	1,66	1,46
	MoM	1,39	1,59	1,71	1,55
3 [μm]	COMSOL	1,85	2,05	2,19	2,05
	MoM	1,87	2,03	2,24	2,03
1 [μm]	COMSOL	3,22	3,61	3,9	3,22
	MoM	3,16	3,64	4	3,47
0,5 [μm]	COMSOL	4	4	-	-
	MoM	4	4	-	-

IV. CONCLUSÕES

Como os resultados obtidos para as quatro geometrias, percebe-se uma semelhança entre nanoantenas e antenas de microondas. Isso porque o parâmetro de seção reta de absorção se mostrou menor para geometrias com bordas arredondadas e menores. Além disso observou-se que antenas de diferentes formatos mas com dimensão L iguais possuíam uma ressonância próxima entre si. Com a simulação paramétrica, se mapeou o comportamento da ressonância, que pode ser utilizado para sintonizar a nanoantena para ressoar na frequência desejada.

REFERÊNCIAS

- [1] F. Schwierz, "Graphene transistors," *Nature Nanotechnology*, vol. 5, pp. 487–496, 2010.
- [2] X. Wang, L. Zhi, and K. Mullen, "Transparent, "Conductive graphene electrodes for dye-sensitized solar cells," *Nano Letters*, vol. 8, pp. 323–327, 2008.
- [3] I. Llatser, C. Kremers, A. Cabellos-Aparicio, J. M. Jorret, E. Alarco, D. N. Chigrin, "Graphene-based nano-patch antenna for terahertz radiation," *Photonics and Nanostructures – Fundamentals and Applications*, in press.
- [4] K. Q. Costa, et al, "Scattering Analysis of Graphene Nanoantennas with Different Shapes," *IX International Conference on Wireless and Mobile Communications*, a ser aprovado.