

6 Conclusão

O presente trabalho mostrou diversas possibilidades de utilização do grafeno e dos nanotubos de carbono em dispositivos de microondas e em sistemas ópticos.

Os testes realizados nos dispositivos de microondas fabricados comprovam que o grafeno e os nanotubos de carbono podem ser considerados facilitadores para os novos projetos a serem desenvolvidos, melhorando ou ampliando as propriedades eletrônicas dos mesmos. Os principais resultados dos testes com dispositivos de microondas mostram que:

- Antenas “microstrip” que utilizam nanotubos de carbono multicamadas misturados a epoxi apresentam maior largura de banda de ganho;
- Os nanotubos de carbono na configuração de “arrays” podem ser utilizados como filtros e ressoadores, bem como linhas de transmissão para microondas.
- Polímeros com grafeno podem ser utilizados como material absorvedor de microondas. O dispositivo desenvolvido neste trabalho é inédito, leve, flexível, inoxidável, transparente e banda larga.
- O grafeno possui não linearidades que permitem a geração de harmônicos quando se mistura dois sinais em uma linha de transmissão formada por grafeno (depositado sobre Cufilon).

No que diz respeito às aplicações de grafeno em sistemas ópticos, foi possível verificar nesta tese que a presença do grafeno amplia a sensibilidade da fibra com relação à polarização do sinal óptico; permite a transmissão de sinais ópticos em faixa larga e é sensível aos produtos de intermodulação gerados pela soma de portadoras distintas.

Nos testes com fibra-D, verificou-se que o grafeno induz aumento da amplitude dos harmônicos de terceira ordem. Esta diferença poderia ser ampliada com o aumento da potência do sinal óptico, o que poderá ser verificado em trabalhos futuros.

Nos testes com conectores ópticos a interação do sinal óptico com o grafeno se apresentou mais intensa do que nos testes de propagação em fibra, visto que o sinal atravessa

a monocamada de grafeno para atingir o outro conector. No teste com fibra-D, o grafeno interage com o sinal óptico porém atua mais como um segundo guia de ondas que, além de confinar, pode induzir efeitos não lineares de terceira ordem.

Nos testes com conectores ópticos com grafeno observou-se atenuação do sinal óptico 2,5 dB maior do que nos testes com conectores sem grafeno.

Tanto nos testes com fibra como nos testes com conectores, as interações são mais destacadas nos harmônicos de terceira ordem. Desta forma, é possível concluir que o grafeno pode servir como indicador da presença de harmônicos de terceira ordem em um circuito. A utilização do grafeno em fibras-D, como foi apresentada, abre portas para a pesquisa do fenômeno de “mistura de quatro ondas” com método simples e de fácil obtenção. O grafeno pode, dessa forma, substituir complexos circuitos de amplificação de harmônicos que utilizam transistores e/ou diodos. Para tal, sugere-se para trabalhos futuros a utilização de sinais ópticos de maior potência na entrada dos dispositivos com grafeno.

Os dispositivos apresentados nesta tese possuem, em sua maioria, aplicação dual. As antenas com nanotubos, por exemplo, podem ser utilizadas em “links” de microondas, satélites ou radares. O material absorvedor de RF pode ser empregado como proteção eletromagnética de circuitos eletrônicos em geral, para impedir interferências eletromagnéticas mútuas, ou pode ser empregado na superfície de sistemas de defesa, para tornar os objetos menos suscetíveis a detecção (característica “stealth”).

Cabe também ressaltar que durante a pesquisa de tese foram publicados alguns trabalhos em congressos e em revistas, que constata a credibilidade dos resultados obtidos.

Além disso, a utilização de substratos de teflon de baixo custo (Cufilon) e a simplicidade de realização dos dispositivos constitui uma aplicação não reportada na literatura.

Deve ser destacado que a maior parte das referências estudadas utilizam tecnologias de grande precisão, sofisticação e custos elevados. A presente tese apresenta realizações de circuitos de RF e efeitos ópticos com tecnologias simples e de custo extremamente reduzido.

Desta forma, pode-se afirmar que esta tese apresentou contribuições tanto para o meio acadêmico quanto para as indústrias de nanotecnologia, de eletrônica e de optrônica, sendo que algumas das contribuições são inéditas na literatura.