

1

Introdução

Os dispositivos eletrônicos, para aplicações em sistemas de microondas, vem sofrendo diversas evoluções tecnológicas impulsionadas pela crescente necessidade de aumento das taxas de transmissão de sinais (analógicos ou digitais) em circuitos cada vez menores, com grande densidade de elementos e menor consumo de energia. Devido a essa demanda, o século XX chegou ao limite dentro das dimensões micrométricas dos transistores do tipo CMOS e similares. Quando Richard Feynman declarou, em 29 de dezembro de 1959: “It is a staggeringly small world that is below” e “there is plenty of room at the bottom” [Feynman, 1959], ele investigava as propriedades das estruturas atômicas que poderiam ser utilizadas e de certa forma codificadas para miniaturizar - em ordens de grandeza até então inimagináveis - equipamentos, informações e dispositivos enormes. Novas abordagens ampliaram a física convencional dos dispositivos para dinâmica atômica ou molecular, para tornar possível entender, caracterizar e manipular nanomateriais.

O fulereno (esfera feita da mesma trama, cuja descoberta rendeu o Nobel de Química de 1996) e o nanotubo de carbono de uma camada já haviam sido isolados em 1985 e 1993, respectivamente. No entanto, apesar de conhecido, o grafeno continuava ausente dos laboratórios.

Com o aumento do interesse da comunidade científica na física das partículas e das altas energias, bem como nos materiais orgânicos, a pesquisa com grafenos e nanotubos de carbono alavancaram no século XXI favorecendo o progresso da nanotecnologia e consequentemente de suas aplicações em diversos ramos da ciência.

Em 2004, Andre Geim e Konstantin Novoselov, dois físicos russos da Universidade de Manchester fizeram uma descoberta importante: ao esfregar grafite numa placa de vidro com uma camada de óxido, alguns dos restos de grafite formaram uma única camada atômica: uma folha de grafeno; por acidente, a espessura da camada de óxido era tal que esses flocos de grafeno eram visíveis ao microscópio óptico.

O grafeno é uma superfície bidimensional composta por átomos de carbono ligados entre si por ligações sp^2 . A Figura 1 mostra um exemplo de estrutura do grafeno. Na figura, cada vértice (por exemplo os vértices 1, 2, 3 e 4) representa um átomo de carbono. Os segmentos de reta “a1” e “a2” da figura determinam o tamanho da célula unitária da estrutura.

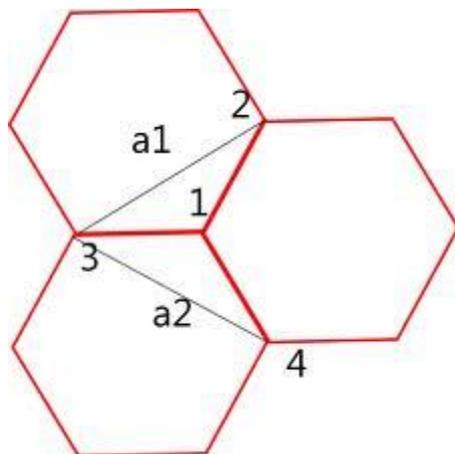
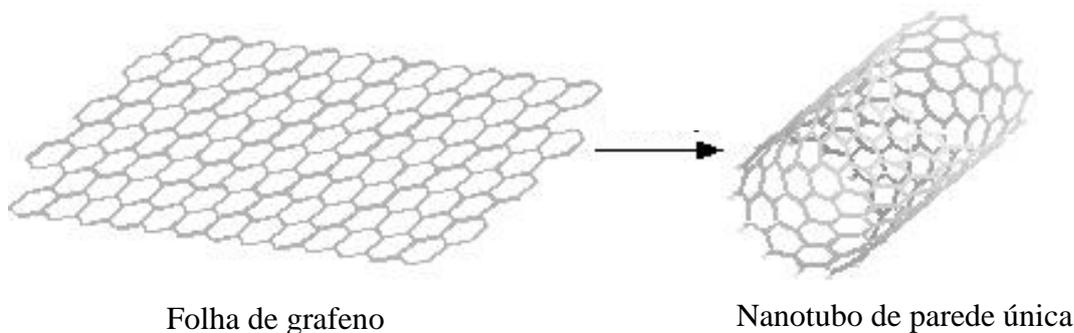


Figura 1 - estrutura do grafeno

Um nanotubo de carbono, por sua vez, é formado pelo grafeno enrolado em torno de um de seus eixos, conforme pode ser observado na Figura 2. A tendência natural das estruturas atômicas consiste em convergir para a configuração de menor energia. No caso do nanotubo, crescendo a partir de uma partícula de diâmetro nanométrico, a tendência é a de manter suas ligações preenchidas e, por isso, suas extremidades tendem a se “enrolar”.



Folha de grafeno

Nanotubo de parede única

Figura 2 - grafeno e nanotubo de carbono de parede única (SWNT)

Os nanotubos de carbono (CNT) apresentam alta condutividade e mecanismos de absorção favoráveis para aplicações em eletromagnetismo e, em especial, em elementos irradiantes, absorvedores de radio-frequencia (RF), sensores e chaves de RF.

Até o presente momento, a quase totalidade das aplicações dos grafenos e nanotubos de carbono são para reforços de estruturas [Kalamkarov, 2006] e sensores de gases [Kermany et al, 2011]. Existem grupos em universidades e órgãos governamentais trabalhando em aplicações sigilosas, para aplicações militares como, por exemplo, a utilização de nanotecnologia em sistemas aeroespaciais [Nanoforum, 2007] ou em aplicações duais como filtros de RF [Hoppe et al, 2003] e analisadores de espectro de alta frequência [Hunt et al, 2003]. Outras equipes estudam a utilização de nanotubos de carbono em radio transmissores e receptores de RF [Jensen, 2007]. As pesquisas mais atuais buscam utilizar o grafeno como transistor [Moon et al, 2011]. Verifica-se no atual mundo acadêmico a necessidade de aprimorar a pesquisa de dispositivos de microondas a base de grafeno e vislumbra-se a melhoria das propriedades eletrônicas desses dispositivos comparando-se com outros dispositivos tradicionais, a base de silício, germânio, ouro e cobre.

Desta forma, os objetivos principais deste trabalho de Tese consistem na pesquisa, dimensionamento e desenvolvimento de estruturas de microondas que utilizam grafeno e nanotubos de carbono como componente fundamental e sua utilização em dispositivos nessa faixa de frequências.

Estes objetivos envolvem as seguintes etapas:

- Fabricação de grafeno e nanotubos de carbono;
- Caracterização das propriedades física e elétrica de grafeno e nanotubos de carbono;
- Transferência de grafeno para substratos diversos;
- Projeto e fabricação de dispositivos de microondas utilizando grafeno e nanotubos de carbono, tais como filtros, mixers, cavidades ressonantes, detetores, materiais absorvedores de RF, estruturas radiantes etc;
- Dimensionamento (para fabricação) de configurações de nanotubos de carbono para utilização em dispositivos de microondas, e
- Caracterização das propriedades elétricas dos dispositivos fabricados na faixa de microondas.

Como objetivos adicionais podem ser destacadas as aplicações de grafeno em dispositivos ópticos utilizando fibras e conectores para o estudo de controladores de polarização, atenuadores e efeitos não-lineares.

A matéria prima principal utilizada nesse trabalho, grafeno e nanotubos de carbono, é fabricada no Departamento de Física da PUC-Rio, mais precisamente no laboratório Van Der Graaf. Nesse laboratório são utilizadas as técnicas de Charge Vapour Deposition (CVD), microscopia óptica, espectroscopia Raman e microscopia eletrônica de varredura.

Os “arrays” de nanotubos de carbono alinhados verticalmente foram adquiridos da empresa Nanolab.

Para obter compósitos poliméricos são utilizados os recursos do Departamento de Química, onde se produz poliuretano e PEI que são utilizados neste trabalho em estruturas de microondas com nanotubos e grafeno.

Diferentes ferramentas computacionais de simulação eletromagnética e de circuitos de microondas são utilizadas neste trabalho, como o ADS (Agilent™ Advanced Design System) e o HFSS (3D Full-wave Electromagnetic Field Simulation). Resultados experimentais são analisados e comparados com os simulados; para tal, são utilizadas técnicas de fabricação de circuitos impressos e equipamentos de testes e medições do laboratório de Microondas do CETUC.

Devido ao fato desta tese possuir foco em dispositivos de microondas, não serão aprofundadas demonstrações teóricas sobre nanotubos de carbono e grafeno; no entanto, as referências que detalham a teoria de cada tema serão citadas para consulta complementar.

O desenvolvimento do trabalho está dividido conforme abaixo explicitado.

No capítulo 2 é apresentado um resumo dos fundamentos teóricos sobre grafeno e nanotubos de carbono.

No capítulo 3 são apresentadas as técnicas de fabricação do grafeno e dos nanotubos de carbono, bem como os métodos utilizados para transferência, restringindo-se aos procedimentos realizados durante esta tese.

No capítulo 4 é apresentada a utilização de grafeno e nanotubos de carbono em dispositivos de microondas.

No capítulo 5 é apresentada a utilização de grafeno e nanotubos de carbono em sistemas ópticos.

Finalmente no capítulo 6 são destacadas as principais inovações da presente tese, a conclusão e as sugestões para trabalhos futuros.