

ESTUDO DOS EFEITOS PROVOCADOS PELA RADIAÇÃO IONIZANTE NO GRAFITE PIROLÍTICO

Kauê Manoel da Costa^{1*}, Luis Humberto Avanzi¹, Marcilei Aparecida Guazzelli¹
 Departamento de Física, Centro Universitário FEI
 kauemanoel1997@hotmail.com, lhavanci@fei.edu.br, marcilei@fei.edu.br

Resumo: Este projeto de pesquisa, propõe a caracterização de amostras finas de grafite Pirolítico Altamente Orientado (HOPG – *Highly Oriented Pyrolytic Graphite*), observando as possíveis variações em suas propriedades físicas, as quais podem interferir na condutividade térmica, após serem expostos a diferentes fontes de radiação ionizante (ondas eletromagnéticas e feixes de íons).

1. Introdução

Nascido no dia 08 de agosto de 1922, o físico Paul Dirac, responsável por unir a mecânica quântica com a relativística, descobre durante seus estudos a existência da antimatéria [1]. Em paralelo, o físico italiano Ettore Majorana, no decorrer de suas pesquisas, teorizou os chamados férmions de Majorana que, por definição, é uma quase-partícula, ou seja, é uma matéria com a sua própria antimatéria coexistindo simultaneamente [2,3].

Nesse mesmo contexto, atualmente, inúmeros físicos estão reunidos no projeto NUMEN (*Nuclear Matrix Elements in Neutrinoless Double Beta Decay*), no qual o principal objetivo é a investigação de reação nuclear de troca de carga dupla por meio da desintegração no decaimento beta-beta sem neutrinos. O projeto NUMEN tem por objetivo validar uma das teorias, a de Dirac ou a de Majorana para a massa do neutrino. [3]

No projeto NUMEN, o grafite pirolítico é utilizado como substrato para o material alvo das intensas reações nucleares que ocorrerão. Como consequência dessas reações nucleares, grande quantidade de calor é produzido, sendo o grafite pirolítico responsável em dissipar este calor. Desta forma, pode-se dizer que os resultados do projeto NUMEN dependem diretamente da integridade das propriedades física, especificamente as térmicas e mecânicas do grafite pirolítico. [3]

Os átomos na rede cristalina do Grafite Pirolítico Altamente Orientado se organizam no formato hexagonal, igual ao grafite encontrado na natureza. Entretanto, o primeiro difere do segundo ao falar no seu alto grau de orientação dos seus planos de clivagem, a extrema pureza encontrada na sua estrutura e os seus parâmetros de rede [4]. Assim, as constantes a e b dos parâmetros de rede encontradas na célula unitária é mostrado na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros de rede para o HOPG em temperatura ambiente. Os valores apresentados aqui são as médias de todos os valores apresentados na referência [4].

a = b	c	d _{c-c}	d _g
(Å)	(Å)	(Å)	(Å)
2,4540(91)	6,72(21)	1,412(31)	3,36(11)

Assim, o objetivo deste trabalho é investigar as propriedades físicas do grafite pirolítico, submetendo as amostras virgens a diferentes fontes de radiação

ionizante, procurando simular as condições que o material vivenciará durante o projeto NUMEN. Deste modo, a pesquisa procura identificar as prováveis mudanças – ou não – nas propriedades físicas.

2. Materiais e Método

2.1. Caracterização da amostra virgem

Submetendo a amostra virgem do material Grafite Pirolítico Altamente Orientado à difração de raio X e a espectroscopia Raman, tem-se por objetivo inicial determinar, para nossa amostra de estudo: i) o número de camadas axiais que compõe a amostra, ii) os parâmetros da rede cristalina e as regiões de interesse do espectro Raman, caracterizando as bandas em termos das ligações químicas presentes. [5]

2.2 Exposição à Radiação

A amostra virgem será devidamente caracterizada, com seus parâmetros de rede conhecidos, e posteriormente será exposta a diferentes doses de radiação CuK α proveniente do equipamento X-Ray Diffractometer XRD-6100 Shimadzu (LERI – FEI), podendo assim estudar o ângulo de difração no material. Outra amostra virgem será submetida a uma fonte de prótons e partículas alfa no Acelerador Linear de Partículas do LAMFI (USP). [6]

Por último, uma parte de amostra virgem será exposta a radiação no Acelerador Linear de Partículas Pelletron (USP) [7], no qual será exposto à interação de íons pesados, provocando um aumento da temperatura do material devido a exposição à radiação. Assim esse sistema funcionará como uma simulação das condições experimentais que o grafite pirolítico sofrerá durante o projeto NUMEN.

2.3 Caracterização da amostra irradiada

Após a radiação as possíveis mudanças nas propriedades físicas do material podem causar danos, alterando os coeficientes de expansão térmica do grafite pirolítico (simetria hexagonal). De acordo com a referência [8], os valores são dados por:

$$\alpha_{ij} = \begin{pmatrix} 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 6,5 \end{pmatrix} \times 10^{-6} / ^\circ C \quad (1)$$

Desta forma, a possível deformação (ϵ) produzida na rede cristalina por efeito de radiação ionizante será dada por:

$$\epsilon_{ij} = \alpha_{ij} \cdot \Delta T \quad (2)$$

que poderá, ou não, levar a mudanças nas propriedades do material. Espera-se que, caso ocorram, essas mudanças, sejam observadas através da

caracterização por difração de raios-X e espectroscopia Raman.

De acordo com a referência [8], a condutividade térmica deste material é de $400\text{ W/m}^\circ\text{C}$ no plano basal a - b e é de $3,5\text{ W/m}^\circ\text{C}$ no plano c .

3. Resultados Esperados

Submetendo o grafite pirolítico a diferentes formas e doses de irradiação, espera-se observar mudanças em sua estrutura cristalina e por consequência nas suas propriedades térmicas. As mudanças na estrutura cristalina, acompanhadas por difração de raios-X, poderiam indicar i) ou mudança na posição dos picos de difração, ii) ou mudança na largura desses picos, ou iii) as duas mudanças ocorrerem simultaneamente. Estas mudanças seriam relacionadas àquelas nos parâmetros de rede da célula unitária. Em relação ao espectro Raman, também se espera que a irradiação da amostra produza os mesmos tipos de mudança na forma e posição dos picos, que seriam relacionados às ligações químicas.

A caracterização da amostra irradiada ainda está sendo estudada, por essa razão, apenas dados da amostra virgem é apresentado. A seguinte imagem refere-se à difração de Raio X realizada no laboratório LERI- FEI

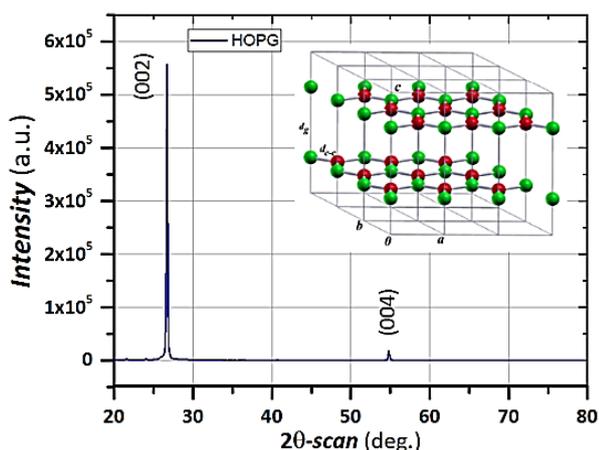


Figura 1: – Difração de Raio X para o HOPG e sua estrutura cristalina. Fonte: autor.

Investigando na literatura [5], é conhecido que materiais compostos por átomos de carbono possui, na espectroscopia Raman, a banda G identificada na região 1570 cm a 1630 cm, como mostra o seguinte gráfico:

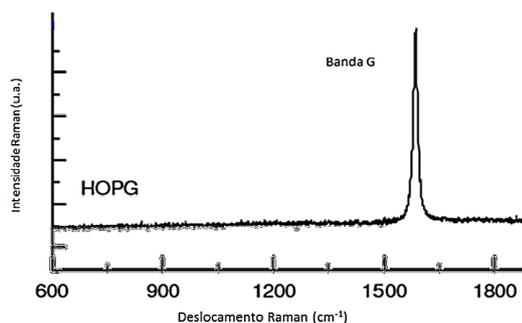


Figura 2: Espectroscopia Raman para o HOPG. Fonte: adaptado da referência [5].

Ambos os resultados confirmam i) o alto grau de pureza e ii) alto grau de ordenação dos átomos na rede cristalina do material em análise. Assim, após irradiar o material espera-se possíveis alterações em ambos os gráficos, justificando as alterações nas propriedades físicas.

4. Conclusões

Os resultados do Projeto NUMEN, do qual a FEI participa juntamente com inúmeras instituições de ensino e pesquisa internacionais, dependem da integridade do grafite pirolítico altamente orientado, que é o material que serve como substrato e dissipador de calor para o alvo onde ocorrerão as fortes reações nucleares. Desta forma, caracterizar o grafite pirolítico quando submetido às condições próximas àquelas em que ele será utilizado no NUMEN é de importância fundamental para o projeto.

Para este projeto de iniciação científica em particular, espera-se que as altas doses de irradiação a que o grafite pirolítico será submetido produza efeitos sobre sua estrutura cristalina e suas propriedades térmicas e mecânicas, mas não a ponto de inviabilizá-lo para a funcionalidade que ele foi designado no NUMEN.

5. Referências

- [1] Dirac, P. A. M.: Biográfico. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2020. Disponível em: <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1933/dirac/biographical/>>. Acesso: 21/09/2020.
- [2] F. Cappuzzello et al., *Eur. Phys. J. A* **54**, 72 (2018). Acesso: 23/09/2020
- [3] M. Cavallaro et al., *Phys. Rev. C* **93**, 064323 (2016). Acesso: 23/09/2020
- [4] Lechner, C, Pannier, B. Baranek, P. Forero-Martinez, N. C. e Vach, H. *J. Phys. Chem. C* **120**, 5083–5100 (2016). doi: 10.1021/acs.jpcc.5b10396. Acesso: 25/09/2020
- [5] Machado, P. da C.: *Caracterização do grafite pirolítico altamente ordenado através da técnica da espectroscopia Raman*. 2015. Tese de Bacharelado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Acesso: 22/09/2020
- [6] LAMFI, <https://portal.if.usp.br/lamfi/pt-br/node/335>. Acesso: 20/09/2020
- [7] Aguiar, V. A., et. A.: *A heavy-ion multi-purpose irradiation facility in Brazil. Review of Scientific Instruments*, v. **91**, p.053301 - 053301-9, 2020. Acesso: 21/09/2020
- [8] Fonte: <<https://www.espimetals.com/index.php/technical-data/74-graphite-pyrolytic-grade>>. Acesso: 20/09/2020.

Agradecimentos

Ao Centro Universitário FEI, a Universidade de São Paulo, Projeto INCT e CNPQ pelos laboratórios e equipamentos para realização de medidas.

* Aluno de IC (R.A.:11.218.243-1) do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 10/20 a 09/21.