cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Preparação e caracterização de cerâmicas de TiO_2 co-dopadas com GeO_2 e Ta_2O_5

Leonardo Uchôa de Souza[1,2]; Eliana Navarro dos Santos Muccillo[1]

1. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN); 2. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP)

Introdução

Cerâmicas com permissividade elétrica colossal ($\varepsilon' > 10^3$) e baixas perdas dielétricas são essenciais para a miniaturização de componentes eletrônicos [1]. No TiO_2 rutilo, a co-dopagem com cátions doadores e aceitadores eleva ε' a ~10^4 [2] e, recentemente, o par Ta^{5+}/Ge^{4+} (isovalente) resultou em perdas dielétricas ultrabaixas [3].

Objetivos

Obter cerâmicas densas de TiO_2 co-dopado com 1% mol de GeO_2 e de Ta_2O_5 e correlacionar o processamento com as propriedades dielétricas.

Metodologia

– Materiais de partida: TiO_2 (99,5%), GeO_2 (99,999%) e Ta_2O_5 (99,99%)

– Composições: $(GeTa)_{0,02}Ti_{0,98}O_2$ (GTTO) e TiO_2

– Obtenção do pó: reação em estado sólido, moagem

– Corpos de prova: PVA (5%) e prensagem uniaxial

– Sinterização: queima do ligante a 600 °C/3 h, seguida de patamar único (1080 ou 1200 °C/5 h) ou de duas etapas (1100 °C/5 h + 1200 °C/3 h; 1200 °C/0,1 h + 1100 °C/5 h)

Resultados e Discussão

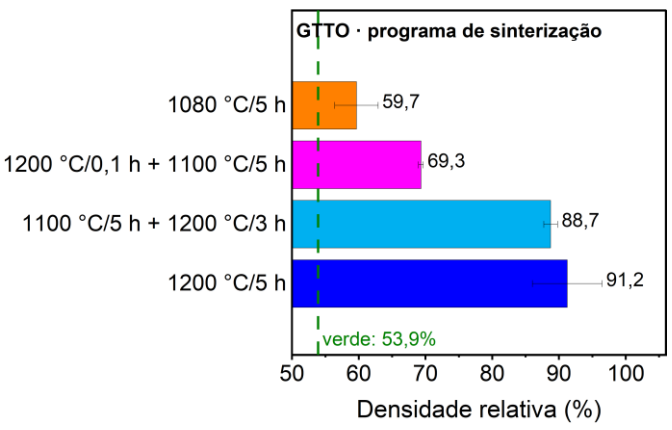


Figura 1. Densidade relativa (média ± desvio padrão) do GTTO por programa de sinterização. A escala parte de 50%, próximo da densidade a verde (tracejado, 53,9%).

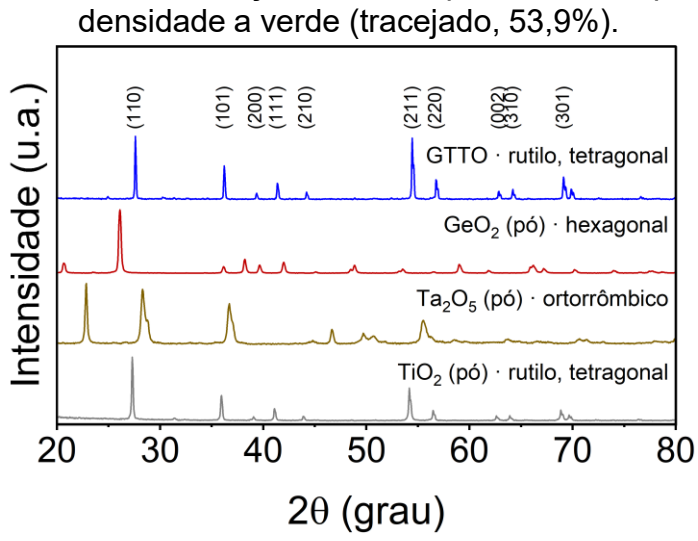


Figura 2. Difratogramas de raios X dos óxidos de partida e do GTTO sinterizado a 1200 °C/5 h.

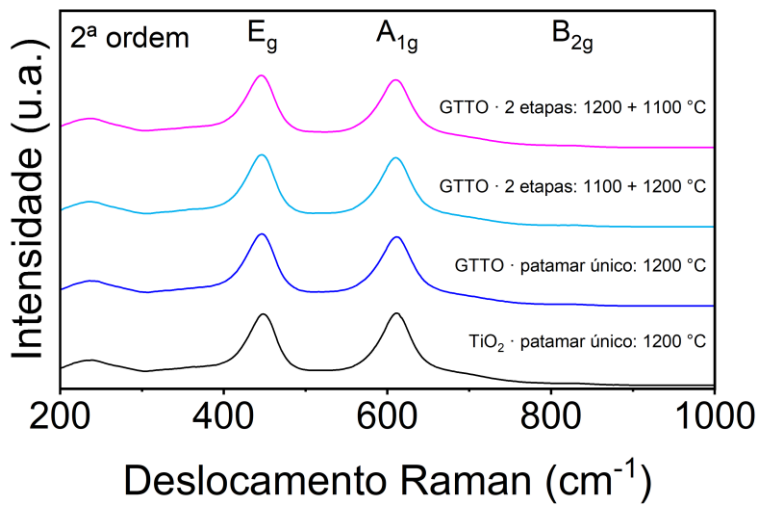


Figura 3. Espectros Raman (laser de 532 nm) do GTTO sinterizado em patamar único (1200 °C/5 h) e em duas etapas (1100 °C/5 h + 1200 °C/3 h; 1200 °C/0,1 h + 1100 °C/5 h) e do TiO_2 (1200 °C/5 h).

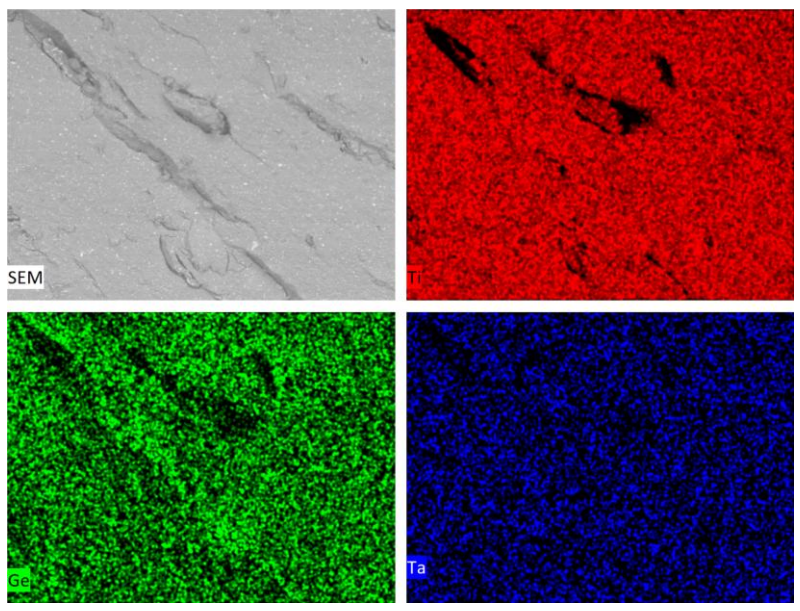


Figura 4. Mapas de EDS de Ti, Ge e Ta da superfície de fratura do GTTO, com a imagem de elétrons da mesma região.

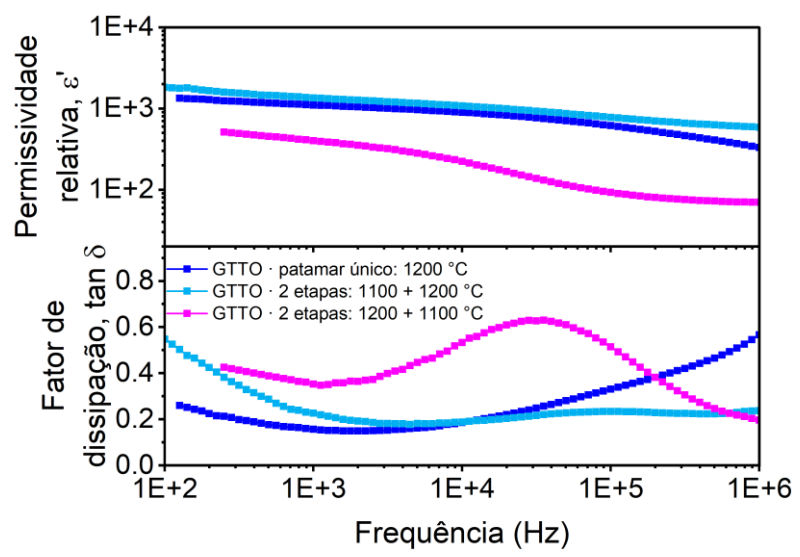


Figura 5. Permissividade relativa (ε′) e fator de dissipação (tan δ) a 40 °C do GTTO, por forma de sinterização.

Conclusões

Cerâmicas de TiO_2 co-dopadas com GeO_2 e Ta_2O_5 foram obtidas por reação em estado sólido, com fase rutilo única e até 95,8% de densidade relativa a 1200 °C/5 h.

As amostras apresentaram $\varepsilon' \approx 1{,}1–1{,}4 \times 10^3$ a 1 kHz e 40 °C (4×10^2 na menos densa), com tan δ ≈ 0,15–0,38.

Referências e Agradecimentos

[1] WANG, Y. et al. Colossal permittivity materials as superior dielectrics for diverse applications. **Advanced Functional Materials**, v. 29, n. 27, 1808118, 2019.

[2] HU, W. et al. Electron-pinned defect-dipoles for high-performance colossal permittivity materials. **Nature Materials**, v. 12, p. 821-826, 2013.

[3] MINGMUANG, Y. et al. Ultra-low loss and environmentally stable colossal permittivity in modified rutile TiO_2. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 1061, 187538, 2026.

Agradecimentos: ao CNPq pela bolsa e ao IPEN/CNEN pela infraestrutura.