

Polarização de um material ferroelétrico em torno da temperatura de Curie

Paulo Soares dos Santos

Universidade do Porto, Faculdade de Ciências, Departamento de Física e Astronomia, Porto, Portugal

Abstract—Neste relatório apresenta-se o estudo sobre a transição de fase ferroelétrica-paraelétrica de uma amostra de Sulfato de Triglicerina, pois esta é uma substância que à temperatura ambiente apresenta polarização espontânea. Aumentando a temperatura até perto dos 50°C obtivemos uma transição de fase ferroelétrica-paraelétrica, passando o material a ser caracterizado como paraelétrico.

Index Terms—ferroelétrico, paraelétrico, temperatura de Curie, transição de fase

I. INTRODUÇÃO

Materiais não condutores podem ter presente uma polarização eletrostática induzida por um campo elétrico externo, quando este campo produz alterações observáveis de elasticidade, efeitos óptico ou comportamento térmico então o material é denominado por ferroelétrico. Microscopicamente certos materiais apresentam iões, que formam dipolos, estando estes dispostos de forma algo aleatória, pois apresentam uma orientação bem definida em curtas regiões do espaço, devido à interação entre dipolos próximos, mas em todo o material a soma de todas estas pequenas regiões tem soma total nula (fig.1.a), não havendo portanto polarização macroscópica do material.

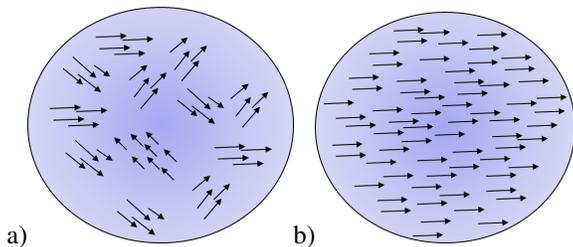


Fig. 1. a) Representação do arranjo de iões como dipolos numa curta região do material; b) Representação do arranjo de iões como dipolos sob o efeito de um campo elétrico externo aplicado

Supondo que a um material deste tipo é aplicado um campo elétrico numa dada direção, se este campo for suficientemente forte fará com que os iões ultrapassem a barreira energética devido às interações eletrostáticas e os dipolos irão alinhar-se com o campo elétrico, apresentando assim o material uma polarização macroscópica (fig.1.b).

Se o campo aplicado foi pequeno não será possível rodar todos os dipolos para se alinharem com o campo e o material comportar-se-á com um dielétrico. À medida que aumentamos o campo, cada vez mais dipolos ficarão alinhados com o campo, o que acontecerá rapidamente pois o intervalo

energético entre o início do alinhamento de alguns dipolos e da totalidade deles será pequeno, o que na prática irá resultar numa alteração grande da polarização num curto intervalo do campo elétrico aplicado na amostra. Para um campo suficientemente grande o material chegará a uma situação de saturação de Polarização, o que corresponde a todos os dipolos estarem alinhados.

Removendo o campo elétrico aplicado após ter sido atingido o regime de saturação irá resultar não em polarização nula, mas sim numa polarização remanescente, isto acontece pois é preciso fornecer energia aos dipolos para eles se voltarem em sentido contrário. Coercividade é a medida do campo elétrico reversamente aplicado para remover completamente a polarização remanescente do material. Devido a todos estes efeitos, aplicando um campo elétrico oscilante será obtido um ciclo histerético (fig.2).

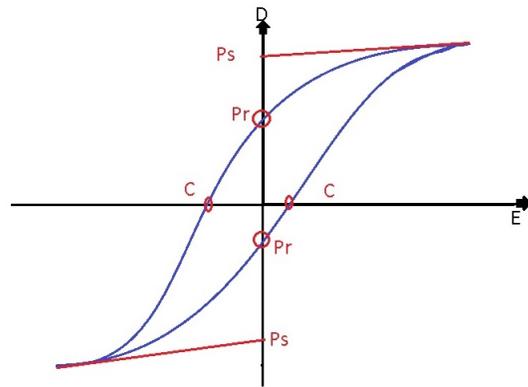


Fig. 2. Ciclo histerético com os valores da coercividade, polarização espontânea e remanescente. Ps = Polarização espontânea; Pr = Polarização remanescente; C = Campo coercivo;

Tratando-se o material de um cristal a estrutura do mesmo na presença de um campo elétrico como iões que se aproximam uns dos outros (fig.3) tendo de ultrapassar uma barreira energética devido à distancia entre iões correspondentes (fig.4), notar que à medida que aumentarmos a temperatura no material os iões conseguirão muito mais facilmente ultrapassar estas barreiras energéticas pois estes estão a receber uma energia térmica cada vez maior, logo é espectável que acima de uma certa temperatura os iões não tenham qualquer dificuldade em ultrapassar estas barreiras energéticas, ficando assim o material sem polarização para um campo elétrico aplicado nulo.

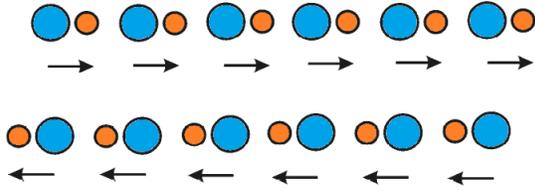


Fig. 3. Alinhamento iônico devido a um campo elétrico aplicado

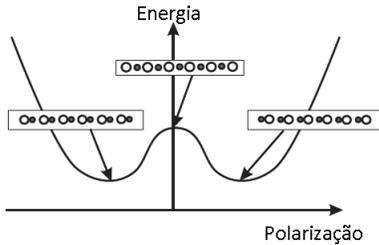


Fig. 4.

A. Polarização

Na maioria dos materiais com polarização, esta é praticamente diretamente proporcional ao campo elétrico aplicado, este regime é denominado por polarização dielétrica. Outros materiais apresentam uma relação P/E mais complexa, isto é, a permitividade elétrica correspondente ao declive da curva da polarização em função de E , não é constante. Este tipo de regime é denominado por paramagnético. Tipicamente materiais ferromagnéticos só o são até uma certa temperatura de transição de fase, denominada por temperatura de Curie (T_c), temperatura acima da qual apresentam um comportamento paramagnético em que a polarização espontânea desaparece devido a alterações da estrutura cristalina do material para uma configuração cristalográfica centrossimétrica

Para materiais ferroelétricos, onde existe uma relação não linear entre o deslocamento elétrico e a Polarização, calculamos a permitividade elétrica como:

$$\varepsilon = -\left(\frac{\partial D}{\partial E}\right)_{E=0} \quad (1)$$

1) *Sulfato de Triglicina*: Sulfato de Triglicina(TGS) é um material ferroelétrico à temperatura ambiente e transforma-se num material paraelétrico a uma temperatura crítica de $T_c \approx 49^\circ\text{C}$. Uma particularidade do Sulfato de Triglicina em relação a outros materiais ferroelétricos é que este é um dos raros materiais de estado sólido que exhibe uma contínua transição de fase.

II. METODOLOGIA

A. Montagem experimental

A montagem experimental (fig.5) consiste numa ligação em série de um gerador de sinais com forma de onda sinusoidal com uma frequência de 1Hz e uma voltagem entre -2V e +2V e de seguida amplificar essa tensão para -56V a +56V. A presença do condensador de deve-se apenas á necessidade

de uma compensação de fase devido a alterações de fase provocada pelas perdas dielétricas do material.

Considerando que o material da amostra se comporta como um condensador perfeito o módulo do deslocamento elétrico é dado pela expressão:

$$D = \frac{Q_a}{S} = \frac{V_a C_a}{S_a} \quad (2)$$

Não sendo possível existir acumulação de carga em nenhum ponto do circuito, então $V_a C_a = V_y C$, logo o módulo do deslocamento elétrico descrito pela equação (1) transforma-se em:

$$D = \frac{V_y C}{S_a} \quad (3)$$

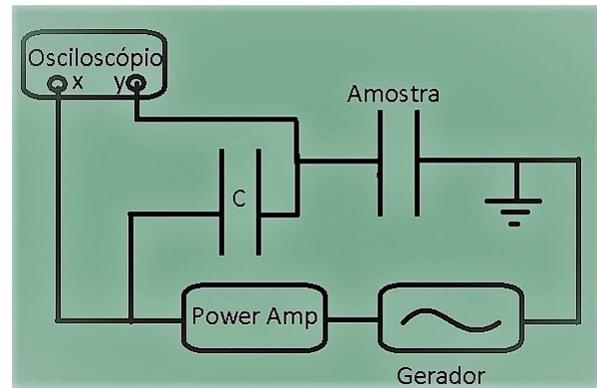


Fig. 5.

A área $S_a = 36\text{mm}^2$ que foi medida considerando que esta é igual á área total da amostra de TGS e o condensador usado foi um cerâmico de capacitância $C = 0.82\mu\text{F}$.

A amostra foi montada utilizando a montagem representada nas figuras 6 e 7.

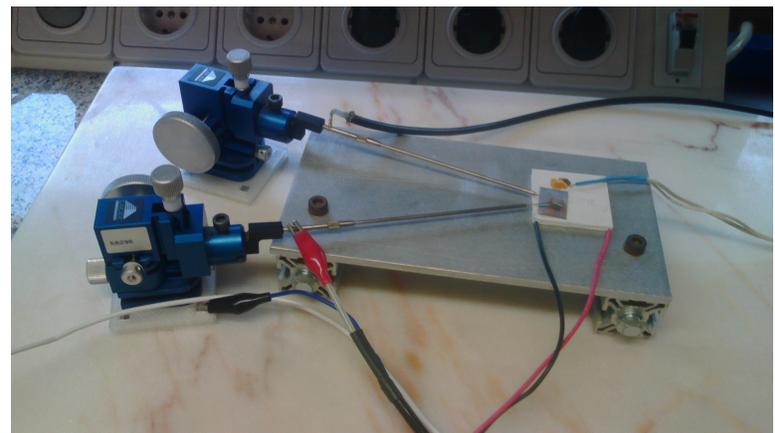


Fig. 6. Montagem da Amostra

O Peltier usado tem uma sensibilidade de $41 S = 41 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$. O peltier é alimentado por uma fonte de potência externa ao circuito cujo objetivo é fazer com que seja possível variar a temperatura da amostra, por efeito Seebeck, tendo o cuidado de não baixar a temperatura abaixo de 10°C para não termos

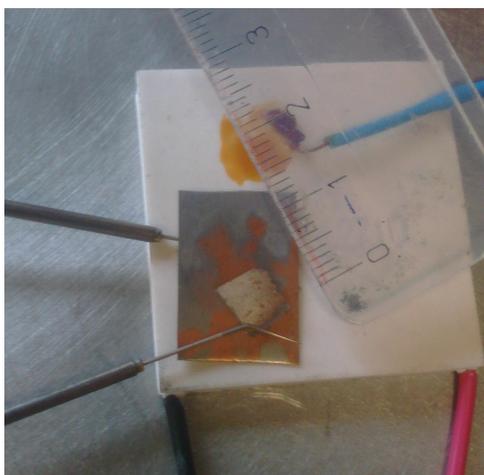
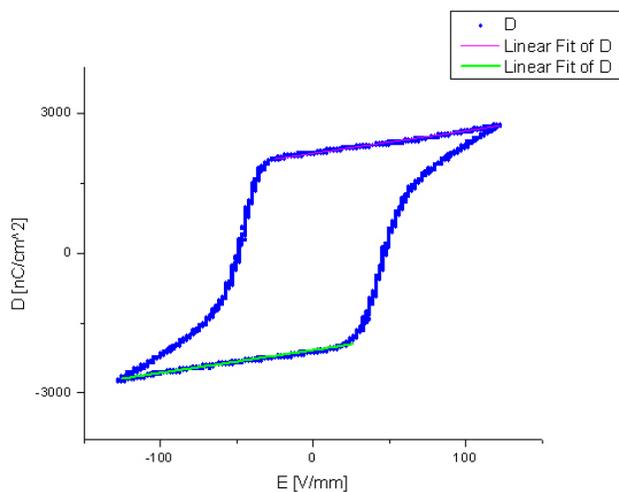


Fig. 7. amostra de TGS no topo de um Peltier

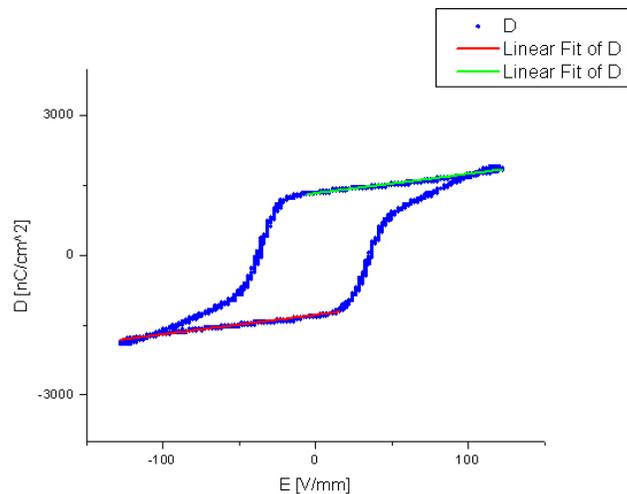
em conta efeitos de condensação do ar na amostra e nao ultrapassar os 50° para para não alterar o estado físico da mesma. Para controlarmos este valor recorremos a um termopar que está ligado ao peltier e a outra ponta do termopar a um recipiente com gelo a 0°C para obtermos um valor de referência. Os valores foram sendo medidos por um voltmetro com precisão de microvolts em tempo real.

III. RESULTADOS



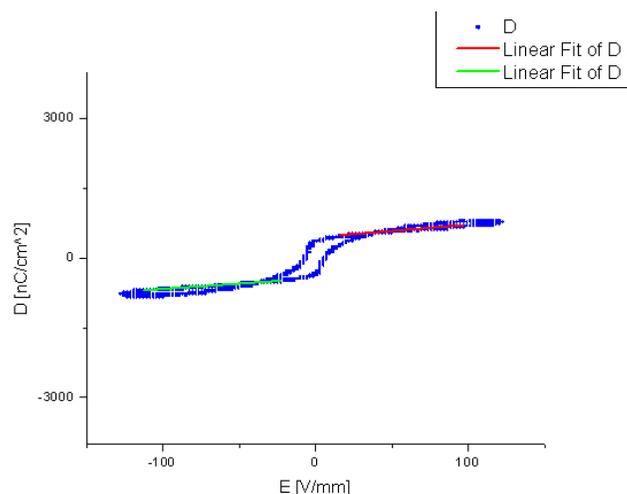
«

Fig. 8. Polarização obtida em função do campo elétrico aplicado para temperatura 21,5°C



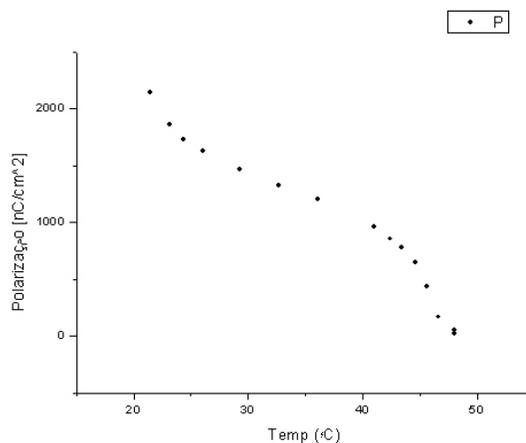
«

Fig. 9. Polarização obtida em função do campo elétrico aplicado para temperatura 33.1°C



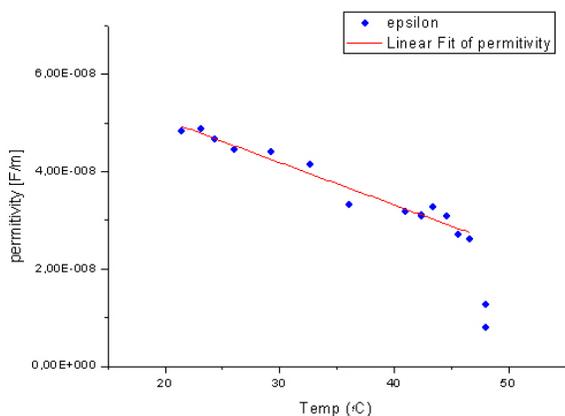
«

Fig. 10. Polarização obtida em função do campo elétrico aplicado para temperatura 45.6°C



«

Fig. 11. Polarização espontânea obtida em função da temperatura



«

Fig. 12. Permittividade do material obtida em função da temperatura

IV. ANÁLISE DE RESULTADOS

Nas figuras 8, 9 e 10, pode ser observado o ciclo de histerese correspondente à temperatura de 21.5°C, 33.1°C e 45.6°C, respectivamente. Foi realizada uma regressão linear nas zonas de saturação para retirar o valor da polarização espontânea, valor este que é o valor de intersecção da polarização com o eixo da origem do campo elétrico. É possível ver que a polarização espontânea vai diminuindo à medida que se aumenta a temperatura e o material foi perdendo comportamento ferroelétrico e adquirindo comportamento paraelétrico.

Na figura 11 está realizado um gráfico da polarização espontânea obtida em função da temperatura, onde é possível ver um decréscimo bastante acentuado da polarização para T perto de $T_c = 49^\circ\text{C}$. Na figura 12 é possível ver que a permitividade elétrica do material se mantém com um declive constante, isto é, a taxa de variação da permitividade elétrica é constante, até valores perto de T_c onde este valor cai abruptamente.

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi possível estudar as características de transição de fase ferroelétrica para paraelétrica do sulfato de triglicerina, verificou-se que a temperatura a que ocorre essa transição concorda com o esperado. A coercividade também foi diminuindo com o aumento da temperatura, o que significa que o campo elétrico inverso necessário aplicar à amostra para anular a polarização foi diminuindo, isto é um resultado esperado pois, com o aumento da temperatura, a energia térmica faz com que exista cada vez menos energia necessária para os íons ultrapassarem a barreira de potencial eletrostático. Também foi possível ver que a transição de fase ferroelétrica- paraelétrica foi gradual, característica esta do TGS, mas bastante acentuada em torno da temperatura de Curie.

VI. REFERÊNCIAS

- M. Lines; A. Glass (1979) - Principles and applications of ferroelectrics and related materials.
 P. Littlewood 2002 - Physics of ferroelectrics.

Charles Kittel - Introduction to Solid State Physics, 8th Edition.

P. Chandra; P.B. Littlewood. A Landau - Primer for Ferroelectrics