

PROPRIEDADES ÓPTICAS DE FILMES FINOS CALCOPENETOS SUBMETIDOS À LUZ SÍNCROTRON

P.R. Moura^{1*}; D.P. Almeida¹; J.C. de Lima¹; C.E.M. Campos¹; C.R. Ponciano²

¹Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Física, 88.040-900, Florianópolis, SC

²Pontifícia Universidade Católica, Departamento de Física, 22.543-970, Rio de Janeiro, RJ

Palavras-chave: filmes finos, luz síncrotron e efeitos fotoinduzidos.

RESUMO

Alterações ópticas induzidas por diferentes regimes de irradiação em filmes finos calcopenetos das ligas $Sb_{50}Te_{50}$ e $Te_{24}In_{38}Sb_{38}$ são apresentadas. As ligas foram preparadas por síntese mecânica em um moinho de bolas, depositadas na forma de filmes finos em substratos de vidro por evaporação e posteriormente expostas à luz síncrotron na faixa do visível e ultravioleta de vácuo (VUV). Os filmes apresentaram o efeito de fotossensibilidade quando expostos à luz síncrotron, bem como diferentes comportamentos da refletância em função do tempo de exposição. Foi observado deslocamento da borda de absorção óptica dos filmes para menores energias, evidenciando o efeito de fotoescurecimento.

ABSTRACT

Studies on photoinduced changes occurring on $Sb_{50}Te_{50}$ and $Te_{24}In_{38}Sb_{38}$ alloys prepared as thin films are presented. Both systems have been investigated under several irradiation regimes. The alloys studied were prepared by a mechanical alloying using a high energy balls mill. Subsequently, the milled alloys were deposited as thin films on glass substrates and then exposed to synchrotron radiation with photons energies ranging from the visible to vacuum ultraviolet (VUV). The films present photosensitivity effect when exposed to the synchrotron light, as well as diverse behaviors regimes for the reflectance as a function of exposure time. A shift on the optical gap toward the low energy region has been measured, indicating the photodarkening effect.

1. INTRODUÇÃO

A liga SbTe vem recebendo considerável atenção devido a sua potencial aplicação como dispositivo termoelétrico integrado [1-3] e é amplamente usada em geradores, termogeradores e refrigeradores termoelétricos [3-6]. Ligas contendo Bi são materiais termoelétricos do tipo-p para aplicações a temperaturas próximas a ambiente [5,6]. Também a liga SbTe forma um semicondutor de estreito *gap* óptico (0,42 eV) [7].

O sistema TeInSb foi bem investigado e particular atenção dada à determinação do seu diagrama de fase para a solubilidade mútua [8]. Vários autores estudaram suas propriedades ópticas [9-11] e elétricas [12-14], concluindo que o incremento da quantidade de In aumenta a densidade de portadores, a condutividade elétrica, o coeficiente de Hall e o coeficiente de Seebeck, mas reduz a mobilidade e o *gap* óptico [9-14].

Dentre as aplicações de ligas contendo Te há a comutação entre dois estados estruturais de equilíbrio: amorfo e cristalino induzida opticamente ou eletricamente [15-17]. O entendimento desta transição de fase é crucial para aplicações em memória simples ou multifase. A memória de acesso aleatório (*Random Access Memory*-RAM) de mudança de fase é uma tecnologia antiga de memória não volátil [15], sendo competitiva com outros tipos, tais como RAM: magnetoresistiva, ferromagnética e resistiva [18]. Pesquisas recentes em dispositivos de memória calcopeneta têm focado o disco *blue-ray* como aplicação dessa tecnologia [19,20].

Na década de 70 foi identificado o processo de cristalização reversível induzida por luz em filmes de materiais semicondutores amorfos [21], permitindo que a gravação óptica de mudança de fase evoluísse para uma tecnologia madura, com versão regravável em sistemas de armazenamento óptico de dados [22,23]. Contudo, o estado corrente dessa tecnologia não pode suprir rapidamente a crescente demanda de aplicações, o que requer futuras investigações para atingir uma alta densidade de armazenamento. As técnicas mais empregadas são: gravação em trilhas [24], modificação do método de gravação [25], gravação por curto comprimento de onda [26] e método óptico de campo próximo [27].

Pesquisas recentes de materiais adequados para gravação óptica de dados é o novo foco para muitos grupos de composições Sb:Te eutéticas [28]. É bem sabido que tanto a temperatura quanto a velocidade de cristalização dependem da razão Sb/Te e que a cinética de cristalização é predominantemente nucleação dirigida (*i.e.*, rápida nucleação em discos de cristalitos da ordem de 10–30 nm), em contraste à cristalização ordenada de amplas regiões do filme [29]. A liga InSb é um dos mais importantes componentes semicondutores, possui *gap* óptico de 0,18 eV [30] e a massa efetiva do elétron é cerca de 1,5 % da massa do elétron livre [31]. Dopando-a com Te, o *gap* óptico move-se para 0,6 eV [32]. Recentemente tem sido de grande interesse por ser uma mídia adequada para disco regravável [33]. Similarmente, ligas a base de Te vêm sendo muito estudadas para o uso como

* dpadaniilo@hotmail.com

mídia de gravação [34,35]. Entretanto, outra classe de material está sendo usada, como a liga SbTe dopada com um ou mais elementos da série Ge, In, Ag e Ga [36-38]. Esses compostos apresentam capacidade de retenção de dados à temperatura ambiente por longos períodos de tempo. Morfológicamente, os pontos na rede mantêm dois ou mais átomos numa estrutura cúbica ou pseudocúbica a altas temperaturas nas quais ocorrem as gravações e apagamento dos dados. Com o aumento da temperatura, a amplitude das vibrações atômicas aumenta exponencialmente. Portanto, adequada para o uso como meios de gravação de dados por mudança de fases, *i.e.*, uma estrutura isotrópica e intensa vibração atômica a altas temperaturas. Já a estabilidade da fase amorfa é mantida por uma complicada rede de ligações covalentes constituídas de três ou mais tipos diferentes de elementos, apresentando anisotropia espacial e estados de ligações dominantes [36].

Meios materiais de gravação necessitam mudanças de fase em alta velocidade e a altas temperaturas, além da estabilidade de cada fase à temperatura ambiente. Entretanto, estes são requisitos conflitantes; uma fase amorfa pode cristalizar em um intervalo de tempo de nanossegundos a altas temperaturas, mas por outro lado, deve-se manter seu estado à temperatura ambiente por décadas ou mais [39].

A liga TeInSb é usada como material de mudança de fase para gravação óptica na região do NIR [40,41], enquanto que dados na literatura na região do UV não foram encontrados. Portanto, o estudo de gravação óptica com curto comprimento de onda será de importante significância e o entendimento das mudanças provocadas e dos mecanismos desencadeados pelo processo de irradiação pode ajudar na preparação de novas ligas com potenciais aplicações em diversas áreas.

Os filmes produzidos a partir das ligas $Sb_{50}Te_{50}$ e $Te_{24}In_{38}Sb_{38}$ foram irradiados com luz VUV e visível (VIS) na linha de luz TGM (*Toroidal Grating Monochromator*) do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron. As propriedades ópticas dos filmes foram analisadas antes e depois do processo de irradiação usando as técnicas de refletância e espectroscopia de absorção UV/VIS/NIR, visando verificar mudanças causadas pela luz síncrotron.

2. EXPERIMENTAL

Os procedimentos experimentais desse trabalho foram descritos anteriormente [42-44]. Ligas calcogenetas de $Sb_{50}Te_{50}$ e $Te_{24}In_{38}Sb_{38}$ foram preparadas pela técnica de síntese mecânica e em seguida usadas para produzir filmes por evaporação térmica resistiva. As fases cristalinas identificadas nas amostras em forma de pó foram: Sb_2Te_2 hexagonal para a liga $Sb_{50}Te_{50}$ e $Sb_{24}Te_9$ hexagonal coexistindo com In_2O_3 cúbica para a liga $Te_{24}In_{38}Sb_{38}$. Os filmes se apresentaram majoritariamente amorfos, exceto por indícios de uma fase TeO_5 hexagonal no filme fino de TeInSb. Detalhes sobre a produção das ligas na forma de pós e filmes finos podem ser encontrados em [44].

Os filmes foram irradiados por um feixe monocromático de radiação VUV na região de energia entre 30 e 45 eV, com

incidência próxima a normal para medida de transmitância e de 45° com a normal para medida de refletância, em um intervalo de 30 min a 5 h 30 min e por um feixe policromático de radiação VUV na região de energia entre 12 e 21,6 eV, por um período de tempo de 30 min a 6 h.

Durante as irradiações a câmara foi mantida a uma pressão menor que 10^{-7} mbar para as exposições dos filmes. A incidência de luz na faixa espectral do VIS foi obtida fazendo o feixe de ordem zero (espectro de luz não dispersada) passar por uma janela de quartzo existente ao longo da linha. Os fluxos de fótons incidentes e emergentes foram monitorados através de grade de ouro (sensível a UV) posicionada antes do filme e diodos (sensíveis a VIS e UV) após a passagem de luz pelo filme, respectivamente.

A eliminação dos harmônicos foi obtida fazendo-se o feixe incidente passar por um alvo gasoso estático de 1 m de comprimento com gás neônio mantido à pressão constante da ordem de 1 mbar [45,46]. Um sistema de bombeamento diferencial produz um gradiente de pressão de cerca de 10 ordens de magnitude para manter as condições de ultra alto vácuo no anel de armazenamento. Isto é atingido por bombas de vácuo de alto desempenho em combinação com capilares condutores de pequeno diâmetro. Uma descrição detalhada de um completo filtro de harmônico baseado em um sistema de bombeamento diferencial pode ser avaliada em [47], atualmente operando na linha de luz TGM.

Para as medidas de absorção óptica, foi utilizado um espectrofotômetro Perkin Elmer, modelo Lambda 19, que opera na região espectral do UV ($200 < \lambda < 400$ nm), do VIS ($400 < \lambda < 700$ nm) e do NIR ($700 < \lambda < 3300$ nm), com resolução de 2 nm para as regiões. Medimos o filme aderido ao substrato e o substrato não depositado para a subtração de sua contribuição.

3. RESULTADOS

A refletância, definida como a razão entre os fluxos de fótons emergente pelo incidente, foi medida inicialmente para o filme fino de SbTe como depositado. Em seguida os filmes foram expostos à luz síncrotron. Ao longo de cada regime de irradiação, registrou-se o espectro de reflexão na região de energia entre 30 e 45 eV. As medidas foram feitas à temperatura ambiente.

A figura 1 mostra o espectro de reflexão do filme fino de SbTe como depositado, na região de energia entre 30 e 35 eV. Observa-se um pico entre 33 e 34 eV e um ombro entre 32 e 33 eV, que correspondem aos níveis $4d_{3/2}$ e $4d_{5/2}$ de um átomo central de Sb (33,3 e 32,1 eV) [51], respectivamente.

A figura 2 mostra a intensidade normalizada da luz síncrotron refletida pelo filme fino de SbTe (por 30 min, com energia de 33 eV) em função do tempo. Mostramos somente os três primeiros minutos de exposição, já que a partir desse intervalo o comportamento fica monótono. Observam-se diferentes comportamentos. Nos primeiros segundos de exposição, há um aumento da refletância que ocorre em um regime com comportamento funcional de potência, atingindo um máximo em aproximadamente 5 s, posteriormente inicia-se um processo de diminuição da refletância, que é bem

descrita por um decaimento exponencial de primeira ordem. Na região I, o expoente de crescimento é $(3,96 \pm 0,06) \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, o que pode ser associado a uma mudança estrutural reversível fotoestimulada, decorrente da alteração do *gap* ótico, compatível com a migração dos átomos de Te [42, 44]. Na região II ($11 < t < 42 \text{ s}$) o expoente de decaimento é $(4,10 \pm 0,07) \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ e, após 100 s de exposição (região III) muda para $(1,66 \pm 0,16) \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Os comportamentos nas regiões II e III são associados a um contínuo processo de destruição fotoestimulada pela contínua segregação de átomos de Te na fase amorfa da liga, com incremento de configurações mais estáveis (diferentes números de coordenação) e a uma degradação fotoestimulada (fotodecomposição) com a migração da liga para uma estequiometria mais estável, respectivamente.

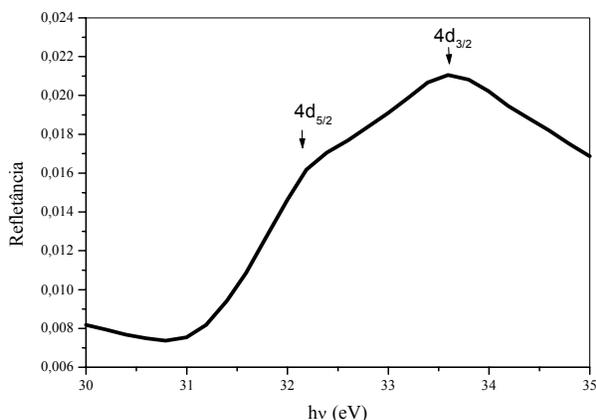


Figura 1 - Espectro de reflexão do filme fino de SbTe na região de energia entre 30 e 35 eV.

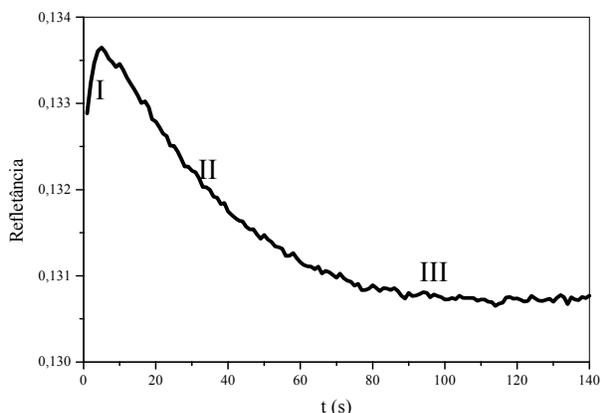


Figura 2 - Medida de refletância do filme fino de SbTe em função do tempo de exposição (<30 min), com fótons de energia de 33 eV.

A figura 3 mostra os espectros de reflexão do filme fino de SbTe na região de energia entre 30 e 45 eV, para vários tempos de exposição. Podemos observar que os espectros se sobrepõem para os regimes de irradiação entre 0,5 e 2 h,

corroborando com a argumentação feita para as regiões II e III da Fig.2, que foram associadas a uma mudança estrutural irreversível fotoestimulada e a uma degradação estrutural fotoestimulada, respectivamente.

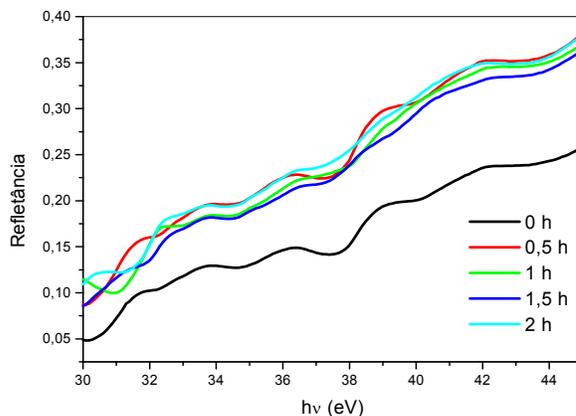


Figura 3 - Espectros de reflexão do filme fino de SbTe na região de energia entre 30 e 45 eV.

Na figura 4 é mostrado o espectro de reflexão do filme fino de TeInSb na região de energia entre 16,5 e 17,5 eV. Observa-se um pico entre 16,9 e 17,1 eV. Esse pico, em torno de 17 eV, corresponde ao nível $4d_{5/2}$ do átomo central de In (16,9 eV) [51]. O nível $4d_{3/2}$ (17,7 eV) [51] não se encontra no intervalo medido.

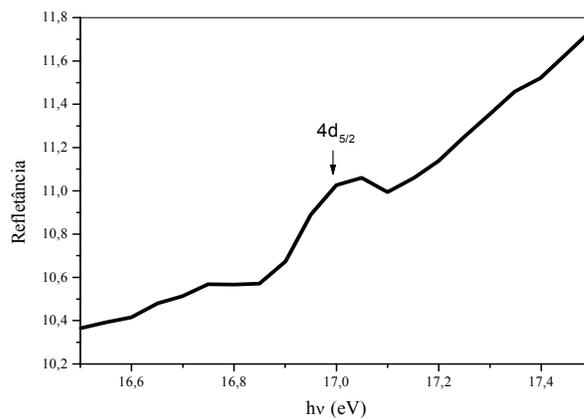


Figura 4 - Espectro de reflexão do filme fino de TeInSb na região de energia entre 16,5 e 17,5 eV com filtro de harmônicos.

A figura 5 mostra a medida de refletância do filme fino de SbTe usando fótons com energia entre 12 e 21,6 eV (energia limitada pelo filtro de harmônicos) em função do tempo (<30 min). Observam-se diferentes comportamentos. Nos primeiros segundos de exposição há um aumento da refletância, que ocorre em um regime com comportamento funcional de potência, atingindo um máximo em aproximadamente 75 s, iniciando-se um processo de diminuição da re-

fletância, que é bem descrita por um decaimento exponencial de primeira ordem.

Na região I, o expoente de crescimento é $(2,34 \pm 0,16) \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, o que pode ser associado a uma mudança estrutural reversível fotoestimulada. Na região II, ($75 < t < 600 \text{ s}$) o expoente de decaimento é $(-4,02 \pm 0,03) \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ e, após 600 s de exposição (região III) muda para $(-4,97 \pm 0,01) \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$.

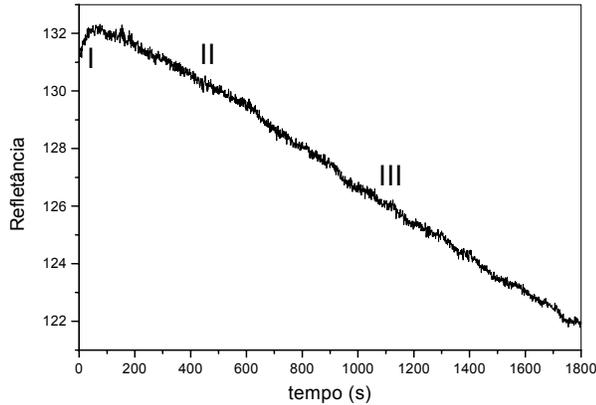


Figura 5 - Medida de refletância do filme fino de SbTe em função do tempo de exposição (<30 min) usando fótons de energia entre 12 – 21,6 eV (filtro de harmônicos).

A figura 6 mostra a medida de refletância do filme fino de TeInSb usando fótons com energia entre 12 – 21,6 eV em função do tempo (< 30 min). A refletância observada para este filme aumentou potencialmente com o tempo de exposição, com expoente $(6,34 \pm 0,02) \cdot 10^{-2} \text{ s}^{-1}$, sugerindo mudanças estruturais reversíveis fotoestimuladas, ou um contínuo processo de destruição fotoestimulada com incremento de configurações mais estáveis.

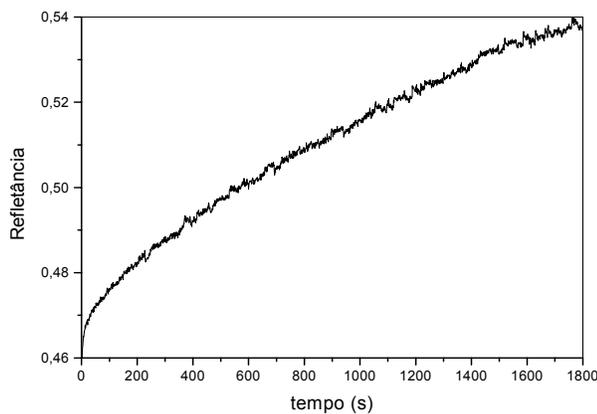


Figura 6 - Medida de refletância do filme fino de TeInSb em função do tempo de exposição (< 30 min) usando fótons de energia entre 12 – 21,6 eV.

A figura 7 mostra o espectro de absorção do filme fino de SbTe na faixa de energia compreendida entre 0,6 a 1,2 eV, onde é possível visualizar a região de absorção eletrônica

entre bandas com a borda entre 0,6 e 0,7 eV na região não irradiada comparada a irradiada.

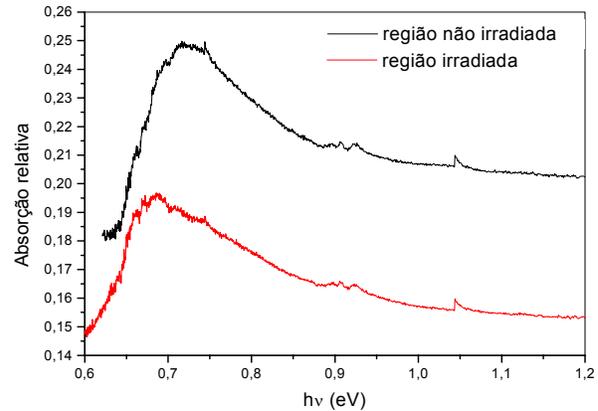


Figura 7 - Espectro de absorção para a região não irradiada e irradiada do filme fino de SbTe.

O gap óptico E_g pode ser obtido pela aproximação de Tauc (gap de Tauc) [48], que relaciona o coeficiente de absorção α com a energia do fóton incidente ($h\nu$) (K é uma constante):

$$(h\nu - E_g)(\alpha h\nu)^n = K \quad (1)$$

onde n representa o tipo de transição eletrônica ocorrida e α é a razão da absorção óptica A pela espessura d do absorvedor [48,49]:

$$\alpha = A/d. \quad (2)$$

Assim, E_g é determinado pela extrapolação da porção linear de (1) onde a relação de Tauc é aplicável [48-50].

A figura 8 mostra os dados de absorção de acordo com a aproximação de Tauc e os valores decorrentes estão dispostos na Tabela 1.

A figura 9 mostra o espectro de absorção na faixa de energia compreendida entre 0,6 e 1,4 eV e a região da borda de absorção eletrônica entre bandas ocorrendo entre 0,9 e 1,1 eV na região não irradiada e nos intervalos 0,6 - 0,9 e 1,1 – 1,3 eV na região irradiada, para o filme fino de TeInSb.

A figura 10 mostra os dados de absorção de acordo com a aproximação de Tauc e os valores decorrentes estão dispostos na Tabela 1.

As análises por Espectroscopia de Absorção UV/VIS/NIR nos filmes finos de SbTe e TeInSb irradiados com luz síncrotron revelaram a ocorrência do deslocamento da borda de absorção óptica para menores energias, correspondendo a $\Delta E_g = (0,08 \pm 0,02) \text{ eV}$ e $\Delta E_g = (0,10 \pm 0,02) \text{ eV}$ (magnitude do fotoescurecimento), respectivamente. O pequeno deslocamento vertical observado entre as curvas das figuras 7 e 9 estão relacionados com a eliminação de defeitos, crescimento de grãos e eliminação de fases amorfas nos filmes irradiados [50].

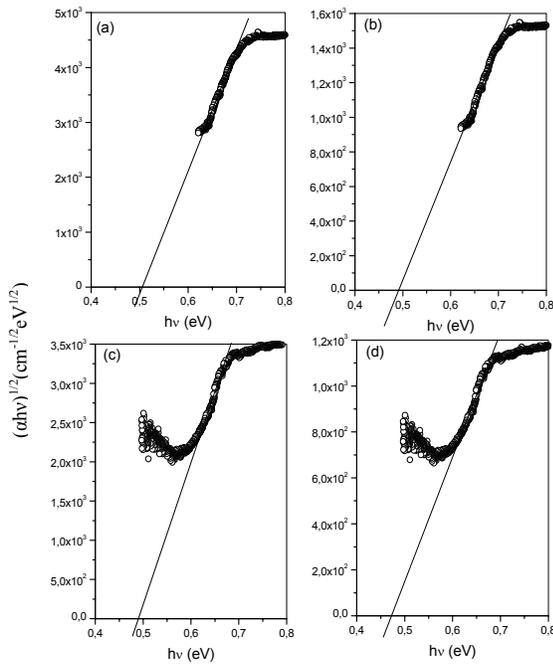


Figura 8 - Gráficos de $(\alpha hv)^{1/2} \times hv$ de acordo com a aproximação de Tauc para as regiões não irradiadas, com espessuras de 0,2 (a) e 0,6 μm (b), e irradiadas, com espessuras de 0,2 (c) e 0,6 μm (d), do filme fino de SbTe.

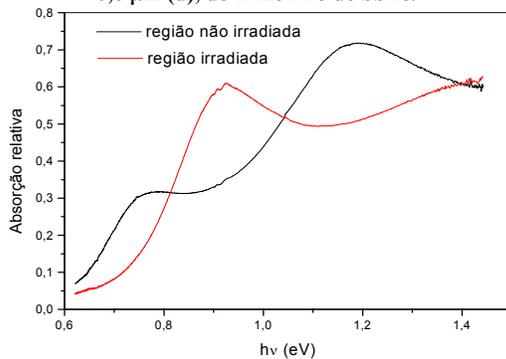


Figura 9 - Espectro de absorção para a região não irradiada e irradiada do filme fino de TeInSb.

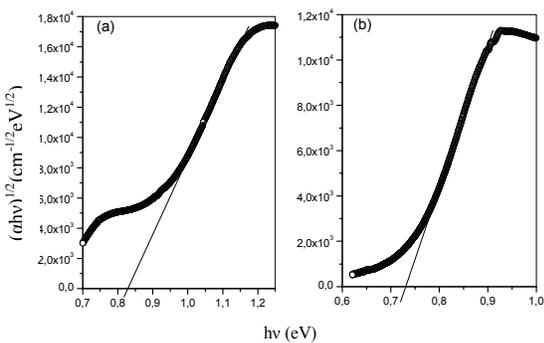


Figura 10 - Gráficos de $(\alpha hv)^{1/2} \times hv$ de acordo com a aproximação de Tauc para a região não irradiada (a) e irradiada (b), do filme fino de TeInSb.

Tabela 1 - Valores de *gap* óptico para os filmes finos de SbTe e TeInSb não irradiados e irradiados.

Composição	E_g (eV) região não irradiada	E_g (eV) região irradiada
SbTe ($d=0,2 \mu\text{m}$)	$0,51 \pm 0,02$	$0,43 \pm 0,02$
SbTe ($d=0,6 \mu\text{m}$)	$0,52 \pm 0,02$	$0,44 \pm 0,02$
TeInSb	$0,84 \pm 0,02$	$0,74 \pm 0,02$

Tabela 2 - Valores de *gap* óptico para os filmes finos de TeInSb amorfos[#] e cristalinos* [53].

Composição	E_g para filmes amorfos (eV)	E_g para filmes cristalinos* (eV)
Sb [52]		$0,15 \pm 0,02$
Te [52]		$0,65 \pm 0,02$
$\text{Sb}_{30}\text{Te}_{70}$ [28]		$0,49 \pm 0,02$
Sb_2Te_3 [7]		$0,42 \pm 0,02$
$\text{Te}_{24}\text{In}_{36}\text{Sb}_{40}$	$0,76 \pm 0,02^{\#}$	$0,48 \pm 0,02^*$
$\text{Te}_{28}\text{In}_{32}\text{Sb}_{40}$	$0,86 \pm 0,02^{\#}$	$0,65 \pm 0,02^*$
$\text{Te}_{36}\text{In}_{27}\text{Sb}_{37}$	$0,85 \pm 0,02^{\#}$	$0,56 \pm 0,02^*$
$\text{Te}_{38}\text{In}_{24}\text{Sb}_{38}$	$0,83 \pm 0,02^{\#}$	$0,52 \pm 0,02^*$
$\text{Te}_{42}\text{In}_{15}\text{Sb}_{43}$	$0,63 \pm 0,02^{\#}$	$0,25 \pm 0,02^*$

Comparando os valores da Tabela 1 com os da Tabela 2 (de referências) pode se constatar que o *gap* das regiões irradiadas do filme fino de SbTe se assemelham com o *gap* do filme fino de Sb_2Te_3 e o *gap* das regiões não irradiadas com o *gap* do filme fino de $\text{Sb}_{30}\text{Te}_{70}$. Já o *gap* do filme fino de TeInSb (majoritariamente amorfo, cuja composição do pó precursor era $\text{Te}_{24}\text{In}_{38}\text{Sb}_{38}$ [44]) assemelha-se ao *gap* dos filmes amorfos da referência [53], sendo que o *gap* da região irradiada se assemelha ao *gap* do filme fino de $\text{Te}_{24}\text{In}_{36}\text{Sb}_{40}$ amorfo e da região não irradiada ao *gap* dos filmes finos de $\text{Te}_{28}\text{In}_{32}\text{Sb}_{40}$, $\text{Te}_{36}\text{In}_{27}\text{Sb}_{37}$ e $\text{Te}_{38}\text{In}_{24}\text{Sb}_{38}$ amorfos.

4. CONCLUSÕES

Os filmes finos de SbTe e TeInSb produzidos pela técnica de evaporação térmica resistiva apresentaram o efeito de fotossensibilidade quando expostos à luz síncrotron. Sendo identificados os fenômenos de fotodecomposição e fotoescurecimento após as irradiações.

Os filmes irradiados com luz síncrotron mostraram diferentes comportamentos da refletância em função do tempo de exposição. Para o filme fino de SbTe, há um aumento da re-

fletância nos primeiros segundos de exposição, descrita por um comportamento funcional de potência compatível com a homogeneização dos átomos na rede. Nos segundos seguintes, há uma diminuição da refletância descrita por um decaimento exponencial de primeira ordem, atribuído a um contínuo processo de transição entre fases metaestáveis pela migração do elemento calcogeneto.

O composto InSb possui *gap* óptico muito pequeno (0,18 eV à temperatura ambiente [30]). Dopando-se a liga de InSb com Te (usando síntese mecânica), a borda de absorção da liga ternária (na forma de filme fino de TeInSb) deslocou-se para 0,84 eV.

A análise por Espectroscopia de Absorção UV/VIS/NIR dos filmes finos de SbTe e TeInSb irradiados com luz síncrotron revelou a ocorrência do deslocamento das bordas de absorção ótica para menores energias, caracterizando o fenômeno de fotoescurecimento.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao fundamental apoio do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron, Campinas, SP e ao quadro de seus pesquisadores envolvidos nesse trabalho. Também agradecemos ao coordenador do Laboratório de Bioinorgânica e Cristalografia do Departamento de Química da UFSC (Prof. Dr. Ademir Neves) por possibilitar a realização de medidas Espectroscopia de Absorção UV/VIS/NIR.

REFERÊNCIAS

- SHAFI, C.; BRETT, M.J., *J. Vac. Sci. Technol.* 15 (1997) 2798-2801.
- MIN, G.; ROWE, D.M., *Solid-State Electron.* 43 (1999) 923-929.
- ROWE, D.M.; BHANDARI, C.M., *Modern thermoelectric*. Holt, Rinehart and Winston, New York, 1983, p. 103.
- NOLAS, G.S.; SHARP, J.; GOLDSMID, H.J., *Thermoelectric, basic principles and new materials developments*, Springer, Berlin, Heidelberg, 2001, p. 111.
- LOVETT, D.L., *Semimetals and narrow-band gap semiconductors*. Pion, London, (1977).
- WOOD, C., *Rep. Prog. Phys.* 51 (1988) 459-539.
- XIANHUI, G.; JUNYOU, Y.; WEN, Z.; JIE, H.; SIQIAN, B.; XI'AN, F.; XINGKAI, D. *Science China Series E: Technological Sciences* 49 (2006) 685-692.
- ROSENBERG, A.J.; STRAUSS, A.J.J. *Phys. Chem. Sol.* 19 (1961) 105-116.
- LOSTAK, P.; NOVOTNY, R.; KROUTH, J. STARY, Z. *Phys. Stat. Sol. (a)* 104 (1987) 841-844.
- KROUTIL, J.; NAVRATIL, J.; LOSTAK, P. *Phys. Stat. Sol. (a)*. 131 (1992) k73-k75.
- HORAK, J.; KARAMOZOV, S.; LOSTAK, P. *Phil. Mag. B.* 72 (1995) 627-636.
- HORAK, J.; LOSTAK, P.; BENES, L. *Phil. Mag. B.* 50 (1984) 665-671.
- HORAK, J.; STARY, Z.; LOSTAK, P.; PANCIR, J.J. *Phys. Chem. Sol.* 49 (1988) 191-198.
- KULBACHINSKII, V.A.; DASSHEVSKII, Z.M.; INOUE, M.; SASAKI, M.; NEGISHI, H.; GEO, W.X.; LOSTAK, P.; HORAK, J.; DE VISSER, A. *Phys. Rev. B.* 52 (1995) 10915-10922.
- OVSHINSKY, S.R. *Phys. Rev. Lett.* 21 (1968) 1450-1453.
- OVSHINSKY, S.R.; FRITZSCHE, H. *Metallurgical Transactions.* 2 (1971) 641-645.
- OVSHINSKY, S.R.; KLOSE, P.H.J. *Non-Cryst. Solids.* 8 (1972) 892-898.
- LAI, S.; LOWREY, T. *IEDM Tech. Dig.* (2001) 803-806.
- HORIE, M.; OHNO, T.; NOBUKUNI, N.; KIYONO, K.; HASHIZUME, T.; MIZUNO, M. *Proc. SPIE.* 4342 (2001) 76-87.
- KATO, T.; HIRATA, H.; INOUE, H.; SHINGAI, H.; UTSUNOMIYA, H. *Jpn. J. Appl. Phys.* 41 (2002) 1664-1667.
- FEINLEIB, J.; DE NEUFVILLE, J.; MOSS, S.C.; OVSHINSKY, S.R. *Appl. Phys. Lett.* 18 (1971) 254-257.
- NARAHARA, T.; KOBAYASHI, S.; HATTORI, M.; SHIMPUKU, Y.; VAN DEN ENDEN, G.; KAHLMAN, J.A.H.M.; VAN DIJK, M.; VAN WOUDEBERG, R. *Jpn. J. Appl. Phys., Part 1.* 39 (2000) 912-919.
- SCHPE, K.; STEK, B.; VAN WOUDEBERG, R.; BLUM, M.; KOBAYASHI, S.; NARAHARA, T.; YAMAGAMI, T.; OGAWA, H. *Jpn. J. Appl. Phys. Part 1* 40 (2001) 1813-1816.
- MIYAGAWA, N.; GOTOH, Y.; OHNO, E.; NISHIUCHI, K.; AKAHIRA, N. *Jpn. J. Appl. Phys.* 32 (1995) 5324-5327.
- ISHIDA, T.; SHOJI, M.; MIYABATA, Y.; OHNO, E.; OHARA, S. *SPIE.* 2338 (1994) 121-126.
- OOKI, H. *Optical and Quantum Electronics.* 25 (1993) S587-S595.
- BETZIG, E.; TRAUTMAN, J.K.; WOLFE, R.; GYORGY, E.M.; FINN, P.L.; KRYDER, M.H.; CHANG, C.H. *Appl. Phys. Lett.* 61 (1992) 142-145.
- PROKHOROV, E.; MENDOZA-GALVÁN, A.; GONZÁLEZ-HERMÁNDEZ, J.; CHAO, B.J. *Non-Cryst. Solids.* 353 (2007) 1870-1874.
- KOOI, B.J.; DE HOSSON, J.T.H.M. *J. Appl. Phys.* 95 (2004) 4714-4721.
- ZWERDING, S.; LAX, B.; LAURA, M.R. *Phys. Rev.* 108 (1957) 1402-1408.
- BURSTEIN, Z.; PICUS, G.S.; GEBBIE, H.A. *Phys. Rev.* 103 (1956) 825-826.
- MOSS, T.S.; SMITH, S.D.; HAWKINS, T.D.F. *Proc. Phys. Soc. Land.* B70 (1957) 776-784.
- KOSHINO, N.; MAEDA, M.; GOTO, Y.; ITOH, K.; OGAWA, S. *Proc. SPIE.* 529 (1985) 40-45.
- MATSUSHITA, T.; SUZUKI, A.; OKUDA, M.; RHEE, J.C.; NAITO, H. *Jpn. J. Appl. Phys.* 24 (1985) L504-L506.
- YADAMA, N.; TAKAO, M. TAKENAGE, M. *Proc. SPIE* 695 (1986) 79-85.
- MATSUNAGA, T.; YAMADA, N. *Jpn. J. Appl. Phys.* 43 (2004) 4704-4712.
- BORG, H.J.; VAN SCIJNDEL, M.; RIJERS, J.C.N. *Jpn. J. Appl. Phys.* 40 (2001) 1592-1597.
- LANKHORST, M.H.R.; VAN PIETERSON, L.; VAN SCHIJNDEL, M. *Jpn. J. Appl. Phys.* 42 (2003) 863-868.
- MATSUNAGA, T.; UMETANI, Y.; YAMADA, N. *Phys. Rev. B* 64 (2001) 184116 (7 p.).
- SATO, Y.; HIROYUKI, M.; YOSHIHITO, M.; ISAO, I.; HISASHI, A.; NOBUYOSHI, T.; MASAICHI, N. *Proc. SPIE.* 1316 (1990) 267-278.
- MEADA, Y.; IKUTA, I.; ANDOH, H.; SATO, Y. *Jpn. J. Appl. Phys.* 31 (1992) 451-458.
- MOURA, P.R. *Cinética de efeitos fotoinduzidos em filmes finos calcogênicos sob irradiação. Dissertação de Mestrado, UFSC, 2006.*
- MOURA, P.R.; ALMEIDA, D.P.; DE LIMA, J.C. *Electron Spectrosc. Rel. Phenom.* 155 (2007) 129-136.

44. MOURA, P.R.; ALMEIDA, D.P.; DE LIMA, C. R. PONCIANO, J.C.; CAMPOS, C.E.M., *Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo* 28 (2009) 1-6.
45. SUITS, A.G.; HEIMANN, P.; YANG, X.M.; EVANS, M.; HSU, C.W.; LU, K.T.; LEE, Y.T.; KUNG, A.H. *Rev. Sci. Instrum.* 66 (1995) 4841-4844.
46. MERCIER, B.; COMPIN, M.; PREVOST, C.; BELLEC, G.; THISSEN, R.; DUTUIT, O.; NAHON, L. *Vac. Sci. Technol. A.* 18 (2000) 2533-2541.
47. CAVASSO, R.L.; LAGO, A.F.; HOMEM, M.G.P.; PILLING, S.; NAVES, A.B. *J. Electron Spectrosc. Rel. Phenom.* 156 (2007) 168-171.
48. TAUC, J.; GRIGOROVICI, R.; VANCU, A.A. *Phys. Status Solidi.* 15 (1966) 627-637.
49. GEORGEVA, V.; TANUSEVSKI, A. BPU-5: *Fifth General Conference of de Balkan Physical Union*, 25, Vrnjačka Banja, Serbia and Montenegro (2003).
50. BOLDISH, S.I.; WHITE, W.B. *American Mineralogist* 83 (1998) 865-871.
51. LIDE, D.R. *CRC handbook of chemistry and physics: a ready-reference book of chemical and physical data: 1995-1996. 76th ed.* Boca Raton: CRC Press, c1995. 1v.
52. PAULING, L., *J. Phys. Chem.* 58 (1954) 662-666.
53. WANG, H.; JIANG, F.; GAN, F., *J. Non-Cryst. Solids* 112 (1989) 291-295.