

PROPRIEDADES ESTRUTURAIS DE LIGAS E FILMES FINOS CALCOGÊNICOS SUBMETIDOS À LUZ SÍNCROTRON

P.R. Moura¹; D.P. Almeida^{1*}; J.C de Lima¹; C.R. Ponciano²; C.E.M. Campos¹

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

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

Palavras-chave: filmes finos; luz sincrotron; efeitos fotoinduzidos.

RESUMO

Apresentamos aqui os resultados da caracterização estrutural das ligas calcogênicas $Sb_{50}Te_{50}$ e $Te_{24}In_{38}Sb_{38}$ em forma de pós e filmes finos. Para tal foram usadas as técnicas de difração de raios-X e espectroscopia de fluorescência de raios-X por dispersão de energia. A liga $Sb_{50}Te_{50}$ e a liga $Te_{24}In_{38}Sb_{38}$ na forma de pó apresentaram as fases nanocristalinas Sb_2Te_2 e $Sb_{24}Te_9$, respectivamente. Os filmes finos se mostraram majoritariamente amorfos. Através dos resultados de fluorescência de raios-X observou-se que a composição química do filme feito com a liga binária ficou levemente alterada no interior da região irradiada com radiação ultravioleta, indicando a migração do Sb.

ABSTRACT

Results on structural characterization of $Sb_{50}Te_{50}$ and $Te_{24}In_{38}Sb_{38}$ alloys prepared as powder and after deposited as a thin films are presented. For that x ray diffraction and energy dispersive X-ray fluorescence were used. The nanocrystalline phases Sb_2Te_2 and $Sb_{24}Te_9$ were nucleated in both $Sb_{50}Te_{50}$ and $Te_{24}In_{38}Sb_{38}$ alloys, respectively. The thin films of both binary and ternary alloys are mainly amorphous. According to X-ray fluorescence results the chemical composition inside the ultraviolet irradiated region on one of the binary thin film become different than that outside irradiation marks, suggesting Sb migration.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as propriedades com aplicações tecnológicas das ligas calcogênicas, ressalta a comutação óptica e elétrica entre dois estados estruturais de equilíbrio, como função do grau de amorfização da liga [1-17]. O entendimento desta transição de fase (amorfo/cristalino) é crucial para aplicações em memória simples ou multifase. A memória de acesso aleatório de mudança de fase (*Phase-change Random Access Memory*-PCRAM) é uma tecnologia de memória não volátil, estabelecida há mais de 40 anos [15], sendo ainda competitiva em relação a outros tipos de memórias não voláteis, dentre as quais: RAM magnetoresistiva (*Magnetoresistive RAM*-MRAM); RAM ferromagnética (*Ferromagnetic RAM*-FRAM); RAM resistiva (*Resistance RAM*-RRAM)

[18], e mais recentemente, o disco Blu-ray (*Blu-ray disk*-BD) [19,20].

O mecanismo da cristalização reversível induzida por luz, ocorrendo em filmes finos semicondutores amorfos (década de 70) [21], permitiu que a gravação óptica de mudança de fase evoluísse fornecendo a versão regravável (*rewritable*-RW) em sistemas de armazenamento óptico de dados como o disco compacto (*compact disk*-CD) e no disco versátil digital (*digital versatile disk*-DVD). O gravador de vídeo digital (*digital video recording*-DVR) tem sido introduzido como um sistema de armazenamento regravável de dados e vídeo de alta capacidade [22,23]. Na busca de alta densidade de armazenamento, têm-se investigado diversas técnicas como: gravação em trilhas (*land/groove recording method*) [24]; modificação dos método de gravação (*modification of recording method*) [25]; gravação por curto comprimento de onda (*followed by short-wavelength method*) [26]; método óptico de campo próximo (*near-field optical method*) [27]. Pesquisas recentes investigam composições Sb:Te eutéticas [28]. É bem sabido que ambas a temperatura e a velocidade de cristalização dependem da razão Sb/Te e que a cinética de cristalização destes materiais é predominantemente nucleação dirigida [29].

A liga InSb possui *gap* óptico de 0,18 eV [30] e com a massa efetiva do elétron cerca de 1,5 % da massa do elétron livre [31]. O espectro de absorção de filmes finos de InSb amorfo apresenta uma forte variação próxima à borda superior do *gap* com um pico de absorção. Após a dopagem com Te, esse pico fica deslocado de 0,42 eV, sendo encontrado em 0,60 eV [32]. Ligas de InSb podem, portanto, ser adequadas como meio de gravação reversível [33]. Ligas à base de Te também vêm sendo muito estudadas para o uso como mídia de gravação [34,35]. Isso também ocorre com a liga SbTe dopada com um ou mais elementos da série Ge, In, Ag e Ga [36-39], onde a rede cristalina tem isotropia, alta simetria espacial e arranjo randômico de seus átomos constituintes. Adicionalmente, vibrações de rede são extremamente grandes na região de altas temperaturas, permitindo uma mudança rápida da fase amorfa para cristalina. Por outro lado, a estabilidade da fase amorfa é mantida por uma complicada rede de ligações covalentes constituída de três ou mais tipos diferentes de elementos, apresentando anisotropia espacial e estados de ligação dominantes [36].

A liga ternária TeInSb é usada como material de mudança de fase para gravação óptica na região do infravermelho próximo (*near infrared*-NIR) [40,41], por outro lado, não

* dpadaniilo@hotmail.com

encontram-se disponíveis na literatura dados na região do ultravioleta (UV). O estudo para o desempenho de gravação óptica de mídia de armazenamento com curto comprimento de onda é de importante significância. Portanto, o entendimento das mudanças provocadas e dos mecanismos desencadeados pelo processo de irradiação nestes materiais pode ajudar na preparação de novas ligas com potenciais aplicações em diversas áreas.

Neste trabalho [42,43], ligas calcogênicas de $\text{Sb}_{50}\text{Te}_{50}$ e $\text{Te}_{24}\text{In}_{38}\text{Sb}_{38}$ foram preparadas pela técnica de síntese mecânica e usadas para produzir filmes finos de mesma composição, usando a técnica de evaporação térmica resistiva. Os filmes finos produzidos foram irradiados com feixe de radiação UV e visível (VIS) na linha de luz TGM (*Toroidal Grating Monochromator*) do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), Campinas, SP. As propriedades estruturais e químicas das ligas, na forma de pós e de filmes finos, foram analisadas usando a técnica de Difração de raios-X (DRX) e Espectroscopia de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (*Energy Dispersive Spectroscopy*-EDS), respectivamente. Visando comparar as mudanças causadas pela luz síncrotron, medidas EDS foram feitas dentro e fora de uma região irradiada em um dos filmes binários produzidos.

2. EXPERIMENTAL

Os reagentes químicos na forma de pó, de alta-pureza da Sigma-Aldrich, foram pesados de acordo com a percentagem atômica escolhida e misturados na proporção para se obter a composição desejada, juntamente com esferas maciças de aço e colocados no interior de um cilindro de aço inoxidável com 3,5 cm de diâmetro interno e 5 cm de altura interna. O conjunto foi lacrado sob uma atmosfera inerte de argônio e colocado em um moinho de bolas de alta energia de impacto, tipo vibratório, modelo Spex 8000.

A moagem da liga $\text{Sb}_{50}\text{Te}_{50}$ foi realizada usando 2,02 g de pó de Sb, 2,11 g de pó de Te e 24,77 g de esferas, correspondendo a uma razão entre a massa das esferas e da mistura (*Ball to powder ratio*-BPR) de 6:1, para se obter a composição $\text{Sb}_{50}\text{Te}_{50}$. O tempo de moagem foi de 10 h. No caso da liga TeInSb , a moagem foi realizada usando 2,58 g de pó de In, 2,74 g de pó de Sb e 26,62 g de esferas, correspondendo a uma BPR de 5:1, para se obter a composição InSb com tempo de moagem de 60 h. Sendo em seguida adicionado no interior do cilindro 1,50 g de pó de Te, para se obter a composição $\text{Te}_{24}\text{In}_{38}\text{Sb}_{38}$, com um tempo de moagem de 10 h.

Os padrões de DRX das amostras em pó foram medidos usando um difratômetro de raios-X Rigaku, modelo Miniflex na geometria θ - 2θ . Já os padrões de DRX das amostras na forma de filmes finos foram determinados por um difratômetro PanAnalytical, modelo Xpert MPD em incidência rasante ($\theta=4^\circ$). Utilizou-se a radiação do cobre, filtrada com níquel de forma a termos a radiação Cu K_α ($\lambda=1,5418 \text{ \AA}$) a 40 kV e 30 mA. A velocidade de varredura foi de $0,05^\circ \text{ s}^{-1}$ em 2θ , variando de 10° a 100° . As medidas DRX foram feitas em temperatura e pressão ambientes.

Para identificação das fases cristalinas existentes nas amostras foi usado o banco de dados cristalográficos ICSD [44] e, na sequência, o método Rietveld foi aplicado (usando o pacote de programas computacional GSAS [45]) para fornecer os parâmetros estruturais, tamanho médio de cristalitos e microdeformação, levando em conta o alargamento de linha instrumental.

Os substratos foram submetidos à limpeza física com acetona e flanela, seguido de banho de limpeza ultra-sônico em um Ultrasonic Cleaner, modelo USC 700 (40 kHz a 50 W), contendo água destilada por 10 min, limpeza química com uma mistura de água destilada e ácido sulfúrico, desengorduramento com detergente neutro e imersão e enxágue em água deionizada. Os substratos foram secados sobre uma chapa quente Quimis, modelo 9-201-2, a uma temperatura de 60°C por 10 min.

Utilizou-se na deposição da liga SbTe um sistema de deposições constituído de câmara de deposição, fonte de evaporação do tipo cadinho de molibdênio (Mo), fonte DC estabilizada em tensão (60 V) Unimatic, modelo 130 Ti, suporte para substrato e lâminas de vidro alcalino com 76 mm de comprimento, 26 mm de largura e 1,2 a 1,4 mm de espessura, não lapidadas e com uma extremidade fosca, que foram usadas como substrato. A liga foi depositada a partir de 189 mg de pó moído compactado sob os substratos, mantidos a temperatura ambiente e a 10 cm da fonte de evaporação. O sistema de bombeamento é constituído de uma bomba turbomolecular Balzers, modelo TCO 015, chegando a uma pressão de $5 \cdot 10^{-5}$ mbar.

Foi utilizado na deposição das ligas $\text{Sb}_{50}\text{Te}_{50}$ e $\text{Te}_{24}\text{In}_{38}\text{Sb}_{38}$ um sistema de deposições Edwards, constituído de câmara de deposição, medidor de taxa de deposição, obturador, eletrodos para evaporação, fonte de evaporação do tipo cadinho de Mo, duas fontes (alimentação do filamento resistivo), suporte para substrato, lâminas de microscópio com 76 mm de comprimento, 26 mm de largura e 1,2 a 1,4 mm de espessura, usadas como substrato para os filmes finos de SbTe e lamínulas com 32 mm de comprimento, 24 mm de largura e 0,1 mm de espessura, usadas como substrato para os filmes finos de TeInSb . As ligas foram depositadas sobre os substratos mantidos à temperatura ambiente e a 15 cm da fonte de evaporação. O sistema de bombeamento é constituído de uma bomba mecânica selada a óleo e uma turbomolecular e medidores de pressão para alto e baixo vácuo, alcançando uma pressão de $6,6 \cdot 10^{-6}$ mbar.

Os filmes finos foram irradiados por um feixe monocromático de radiação UV, provocando efeitos fotoinduzidos na região de energia entre 30 e 45 eV, com incidência próxima à normal para medida de transmitância e de 45° para medida de refletância, por um período de tempo de 30 min a 5 h 30 min e por um feixe policromático de radiação UV, provocando efeitos fotoinduzidos na região de energia entre 12 e 21,6 eV, com incidência próxima à normal para medida de transmitância e de 135° para medida de refletância, 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 finos. A incidência de luz na faixa do VIS foi obtida fazendo o feixe de ordem zero (espectro de luz não dispersada) passar por

uma janela de quartzo existente na linha. O fluxo de fótons incidente e emergente foram monitorados através de grade de ouro (sensível ao UV) posicionada antes do filme fino e diodos (sensíveis ao VIS e ao UV), posicionados depois do filme, respectivamente. Um sistema de bombeamento diferencial [46,47] 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 filtro de harmônico completo baseado em um sistema de bombeamento diferencial pode ser encontrada em [48], atualmente operando na linha de luz TGM.

As medidas de espessura dos filmes finos que recobriam completamente o substrato foram feitas em risco. Nos filmes finos que possuíam uma borda não recoberta no substrato, as medidas foram feitas nestas bordas. As medidas foram feitas em um perfilômetro Ambios Technology (USA), modelo XP-1 Stylus Profilometer e em um perfilômetro Veeco-Sloan Technology, modelo Dektak (Surface Profile Measuring).

Foi feita a análise composicional de regiões não irradiadas e irradiadas no filme fino de SbTe, por fluorescência de raios-X, utilizando uma microsonda acoplada a um microscópio eletrônico de varredura de baixo vácuo, modelo LV-SEM JSM 5900LV, operando entre 1 e 30 kV.

3. RESULTADOS

A figura 1(a) apresenta o padrão de DRX da liga $\text{Sb}_{50}\text{Te}_{50}$, moída por 10 h, juntamente com o padrão simulado e sua respectiva curva diferença (linha cinza). Foi identificada uma única fase hexagonal Sb_2Te_2 descrita pelo cartão ICSD 20459 (grupo espacial P-3m1 e parâmetros de rede $a=b=4,26$ Å e $c=23,9$ Å). Os parâmetros estruturais obtidos pelo método de Rietveld para a fase Sb_2Te_2 presente na amostra moída foram $a=b=4,285(1)$ Å e $c=23,912(8)$ Å, com tamanho médio de cristalitos de 222 Å e microdeformação de 2,1 %.

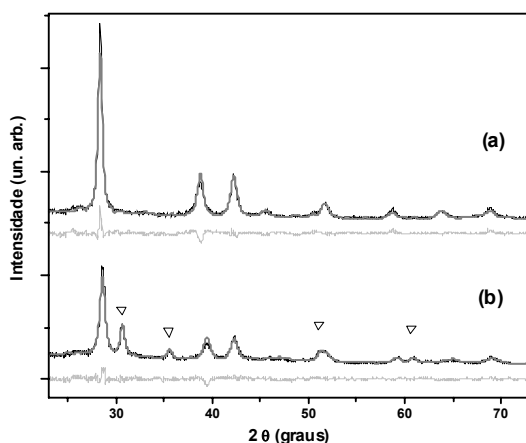


Figura 1 – Padrões DRX das amostras $\text{Sb}_{50}\text{Te}_{50}$ (a) e $\text{Te}_{24}\text{In}_{38}\text{Sb}_{38}$ (b) em pó após 10 h de moagem. Padrões experimentais e simulados sobrepostos e suas respectivas curvas diferença (linhas cinza). Os símbolos representam as posições dos picos mais intensos da fase In_2O_3 cúbica.

Na figura 1(b), apresentamos os padrões de DRX (experimental e simulado) da liga $\text{Te}_{24}\text{In}_{38}\text{Sb}_{38}$, após 10 h de moagem. Foram identificadas duas fases cristalinas: $\text{Sb}_{24}\text{Te}_9$ hexagonal (cartão ICSD 152188, grupo espacial R-3m e $a=b=4,27$ Å e $c=63,9$ Å) e In_2O_3 cúbica (cartão ICSD 14387, grupo espacial Ia-3 e $a=b=c=10,12$ Å, ver símbolos na Fig.1(b)). Os parâmetros estruturais obtidos pelo método de Rietveld mostram 73 % da fase $\text{Sb}_{24}\text{Te}_9$, com $a=b=4,285(1)$ Å e $c=64,01(3)$ Å, e 27 % da fase In_2O_3 , com $a=b=c=10,117(3)$ Å. O tamanho médio dos cristalitos (microdeformação) foram 174 Å e 198 Å (2,4 % e 1,5 %) $\text{Sb}_{24}\text{Te}_9$ e In_2O_3 , respectivamente.

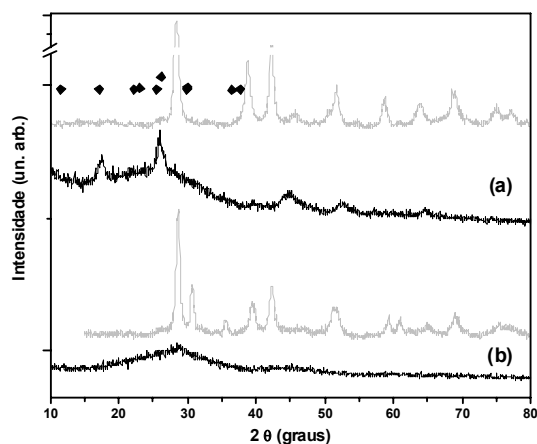


Figura 2 - Padrões DRX dos filmes finos produzidos a partir das amostras $\text{Sb}_{50}\text{Te}_{50}$ (a) e $\text{Te}_{24}\text{In}_{38}\text{Sb}_{38}$ (b). As linhas cinza representam os padrões DRX dos pós precursores. Os símbolos representam as posições dos picos mais intensos da fase Te_2O_5 monoclinica.

A figura 2 apresenta os padrões de DRX dos filmes finos produzidos a partir das ligas $\text{Sb}_{50}\text{Te}_{50}$ (a) e $\text{Te}_{24}\text{In}_{38}\text{Sb}_{38}$ (b), onde também aparecem os padrões de DRX dos pós precursores (linhas cinza). Esta figura mostra que os filmes são majoritariamente amorfos, sendo que o filme de SbTe apresentou fortes indícios de oxidação. A fase cristalina mais provável é a Te_2O_5 monoclinica (grupo espacial P21, cartão ICSD 2523, ver símbolos na Fig.2).

Iniciamos as irradiações dos filmes finos medindo o espectro de reflexão do filme fino de SbTe como depositado. O espectro de reflexão foi obtido pela normalização do fluxo de fótons emergentes pelo fluxo de fótons incidentes e foi medido à temperatura ambiente. A figura 3 mostra o espectro de reflexão do filme fino de SbTe 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) [49], respectivamente.

Em seguida foram feitas medidas de refletância do filme fino de SbTe como depositado. As medidas foram obtidas pela normalização do fluxo de fótons emergentes pelo fluxo de fótons incidentes e foram feitas à temperatura ambiente. Após cada regime de irradiação, foi medido o espectro de reflexão na região de energia entre 30 e 45 eV, para a respectiva região irradiada. A figura 4 mostra o gráfico da me-

dida de refletância do filme fino de SbTe irradiado por 30 min, com energia fixa de 33 eV. Nessa figura, mostramos somente os três primeiros minutos de exposição.

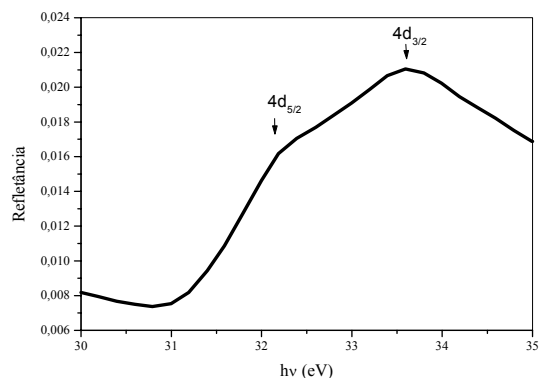


Figura 3 - Espectro de reflexão do filme fino de SbTe na região de energia entre 30 e 35 eV.

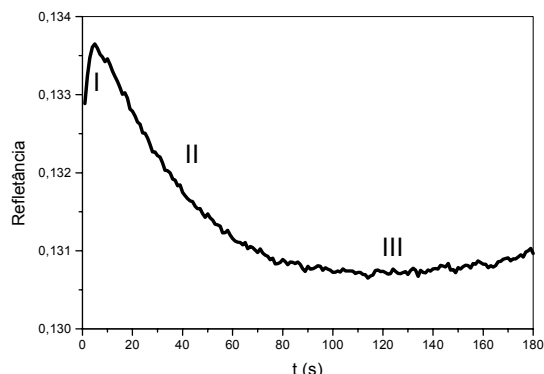


Figura 4 - Medida de refletância do filme fino de SbTe irradiado por 30 min, com energia fixa de 33 eV.

A figura 5 mostra os espectros de reflexão do filme fino de SbTe na região de energia entre 30 e 45 eV, para vários tempos de exposição.

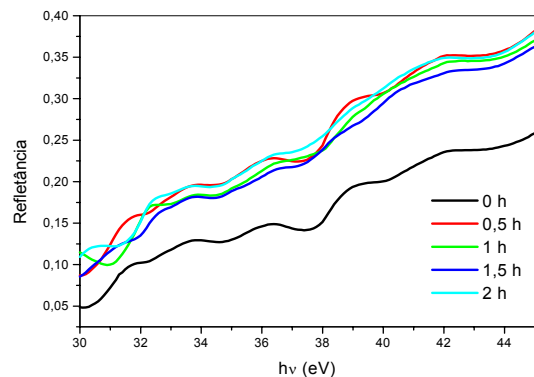


Figura 5 - Espectros de reflexão do filme fino de SbTe na região de energia entre 30 e 45 eV.

Subsequentemente, medimos o espectro de reflexão do filme fino de TeInSb como depositado. As medidas foram feitas à temperatura ambiente e com filtro de harmônicos. Na figura

6, 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) [49]. O nível $4d_{3/2}$ do átomo central de In (17,7 eV) [49] não se encontra no intervalo medido.

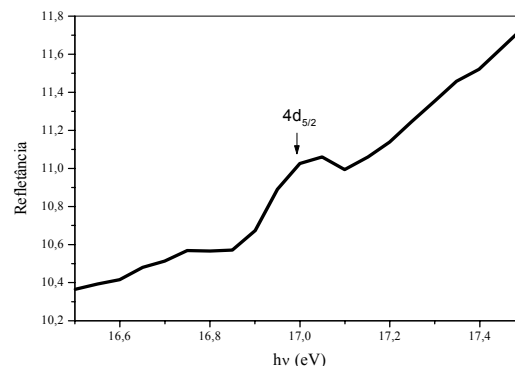


Figura 6 - Espectro de reflexão do filme fino de TeInSb na região de energia entre 16,5 e 17,5 eV com filtro de harmônicos.

Em seguida, foram feitas medidas de refletância no filme fino de SbTe e no filme fino de TeInSb, como depositados. As medidas foram feitas à temperatura ambiente e com filtro de harmônicos. Após cada regime de irradiação, foi medido o espectro de reflexão para as respectivas regiões dos filmes finos irradiados na região de energia entre 16,5 e 17,5 eV. A figura 7 mostra o gráfico da medida de refletância no filme fino de SbTe irradiado com feixe de ordem zero por 30 min.

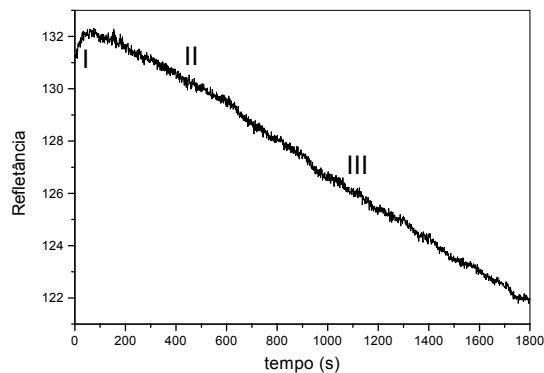


Figura 7 - Medida de refletância de filme fino de SbTe irradiado por 30 min com filtro de harmônicos.

A figura 8 mostra o gráfico da medida de refletância de filme fino de TeInSb, irradiado com feixe de ordem zero por 30 min.

As figuras 9 e 10 mostram os gráficos das medidas de espessura do filme fino de SbTe pela técnica de perfilometria de superfície. Nesta técnica, utiliza-se a existência de uma zona descoberta (sem filme depositado) dos filmes finos crescidos em substratos de vidro, obtendo-se então um perfil em forma de degrau na transição do filme para o substrato, como se pode observar nas figuras.

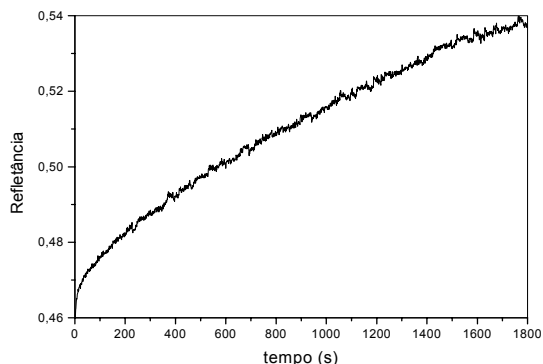


Figura 8 - Medida de refletância do filme fino de TeInSb irradiado por 30 min com filtro de harmônicos.

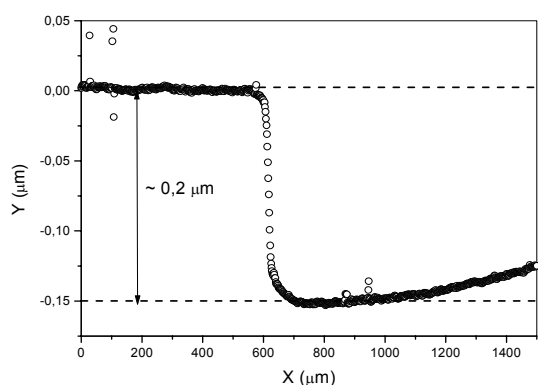


Figura 9 - Medida da espessura do filme fino de SbTe através de perfilometria.

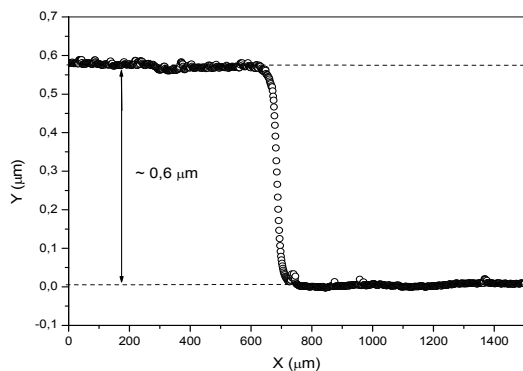


Figura 10 - Medida da espessura do filme fino de SbTe através de perfilometria.

As figuras 11 e 12 mostram os espectros EDS do filme fino de SbTe para as regiões não irradiada e irradiada, respectivamente. A análise dos resultados revelou que a proporção Sb:Te no interior da região irradiada ficou alterada para 40:60, indicando uma migração do Sb, já que a proporção fora da região irradiada é 50:50.

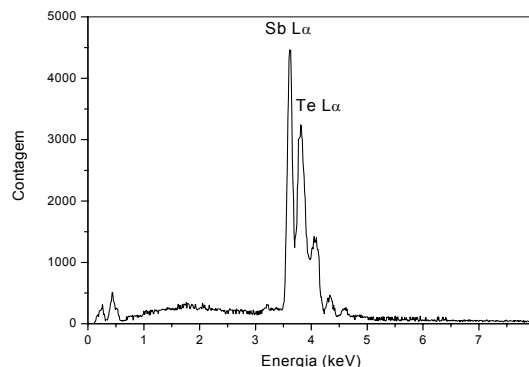


Figura 11 - Espectro EDS para a região não irradiada do filme de SbTe, mostrando os picos $L\alpha$ do Sb e do Te.

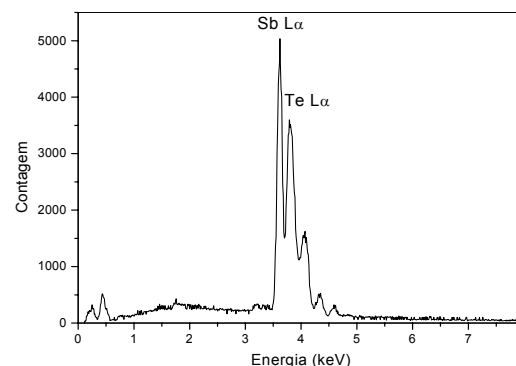


Figura 12 - Espectro EDS para a região irradiada do filme de SbTe, mostrando os picos $L\alpha$ do Sb e do Te.

4. CONCLUSÕES

As misturas de pós $Sb_{50}Te_{50}$ e $Te_{24}In_{38}Sb_{38}$ foram submetidas à síntese mecânica e posteriormente depositadas sobre substratos de vidro, originando filmes finos com espessuras da ordem de 0,2 e 0,6 μm para o sistema binário e da ordem de 0,25 μm para o ternário.

As ligas produzidas por síntese mecânica na forma de pó foram analisadas por DRX e os resultados mostraram a nucleação das fases nanocristalinas Sb_2Te_2 para o sistema binário e a coexistência das fases nanocristalinas $Sb_{24}Te_9$ e In_2O_3 para o sistema ternário. Os tamanhos médios de cristalitos obtidos são menores que 222 Å.

Os padrões de DRX dos filmes finos, produzidos a partir das ligas $Sb_{50}Te_{50}$ e $Te_{24}In_{38}Sb_{38}$, mostram que os filmes são majoritariamente amorfos, sendo que o filme binário apresentou fortes indícios de oxidação.

Os resultados de EDS mostraram que a composição do filme de SbTe no interior da região irradiada ficou levemente alterada em relação à composição original, demonstrando que o filme da liga binária tem potencial como material de mudança de fase para gravação óptica na região do UV.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) e ao seu corpo de funcionários de apoio. As medidas DRX de filmes em incidência rasante foram feitas no Laboratório Difração de raios X (LDRX) da UFSC.

REFERÊNCIAS

- SHAFAI, 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 WOUTENBERG, R., *Jpn. J. Appl. Phys.* 39 (2000) 912-919.
- SCHEP, K.; STEK, B.; VAN WOUTENBERG, R.; BLUM, M.G.; KOBAYASHI, S.; NARAHARA, T.; YAMAGAMI, T.; OGAWA, H., *Jpn. J. Appl. Phys.* 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. Lond. B* 70 (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.
- Inorganic Crystal Structure Database (ICSD), Fachinformationszentrum Karlsruhe, Germany, and the U.S. Department of Commerce on the behalf of the United States, 2007.*
- LARSON, A.C.; VON DREEL, R.B., *General Structure Analysis System (GSAS), Los Alamos National Laboratory Report LAUR 86-748, 2000.*
- 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.
- MERCIER, B.; COMPIN, M.; PREVOST, C.; BELLEC, G.; THISSEN, R.; DUTUIT, O.; NAHON, L., *Vac. Sci. Technol. A.* 18 (2000) 2533-2541.
- CAVASSO, R.L.; LAGO, A.F.; HOMEM, M.G.P.; PILLING, S.; NAVES, A.B., *J. Electron Spectrosc. Rel. Phenom.* 156 (2007) 168-171.
- 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.