

In-Sb-Te 박막의 결정화 거동에 관한 투과전자현미경 연구

김청수, 김은태, 이정용*, 김용태¹

KAIST 신소재공학과, ¹한국과학기술연구원 (KIST) 나노과학연구본부 나노소자연구센터

A Transmission Electron Microscopy Study on the Crystallization Behavior of In-Sb-Te Thin Films

Chung Soo Kim, Eun Tae Kim, Jeong Yong Lee* and Yong Tae Kim¹

Department of Materials Science and Engineering, KAIST, 335 Gwahangno,
Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Korea

¹Nano-Devices Research Center, Nano-Science Research Division,
Korea Institute of Science and Technology (KIST), Seoul 136-791, Korea

(Received September 5, 2008; Accepted December 22, 2008)

ABSTRACT

The phase change materials have been extensively used as an optical rewritable data storage media utilizing their phase change properties. Recently, the phase change materials have been spotlighted for the application of non-volatile memory device, such as the phase change random access memory. In this work, we have investigated the crystallization behavior and microstructure analysis of In-Sb-Te (IST) thin films deposited by RF magnetron sputtering. Transmission electron microscopy measurement was carried out after the annealing at 300°C, 350°C, 400°C and 450°C for 5 min. It was observed that InSb phases change into In₃SbTe₂ phases and InTe phases as the temperature increases. It was found that the thickness of thin films was decreased and the grain size was increased by the bright field transmission electron microscopy (BF TEM) images and the selected area electron diffraction (SAED) patterns. In a high resolution transmission electron microscopy (HRTEM) study, it shows that 350°C-annealed InSb phases have {111} facet because the surface energy of a {111} close-packed plane is the lowest in FCC crystals. When the film was heated up to 400°C, In₃SbTe₂ grains have coherent micro-twins with {111} mirror plane, and they are healed annealing at 450°C. From the HRTEM, InTe phase separation was occurred in this stage. It can be found that In₃SbTe₂ forms in the crystallization process as composition of the film near stoichiometric composition, while InTe phase separation may take place as the composition deviates from In₃SbTe₂.

Keywords : In-Sb-Te (IST), Phase change memory (PRAM), Transmission Electron Microscopy (TEM)

서 론

칼코게나이드계 상변화 재료는 열에너지 인가 조건에 따라 재료의 상태가 결정질(crystalline)상과 비정질(amorphous)상의 가역적인 상변화 특성을 이용하여 정보의 기록, 소

거, 재생에 이용하는 메모리 기술이다. Ovshinsky는 이러한 상변화에 의한 저항 변화를 메모리로 응용 가능하다고 세계 최초로 보고한 이래로(Ovshinsky, 1968), PRAM (Phase-change RAM)은 FRAM (Ferroelectrics RAM), NFGM (Nano Floating Gate Memory), ReRAM (Resistance RAM), PoRAM (Polymer RAM), MRAM (Magnetic RAM) 등과 더불어 현재

* Correspondence should be addressed to Jeong Yong Lee, Department of Materials Science and Engineering, KAIST, 335 Gwahangno, Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Korea. Ph.: (042) 350-4216, Fax: (042) 350-4276, E-mail: j.y.lee@kaist.ac.kr

차세대 메모리로 그 가능성을 크게 주목 받고 있다.

상변화 메모리 재료로 최근 주로 연구되는 물질은 Ge-Sb-Te (GST)계열의 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 화합물이다. $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 화합물은 결정화 속도가 빠르고 내산화성이 우수하며 여러 번의 결정화와 비정질화를 거처도 안정하다는 장점 때문에 다른 상변화 물질에 비해 메모리에 응용하기가 적합하지만, 낮은 결정화 온도와 높은 녹는점, 높은 reset current의 문제점을 가지고 있다. 즉, 이 재료가 메모리 소자 내에서 사용될 때 결정화 온도가 낮게 되면 용융상태에서 급랭되어 비정질 상태가 될 때 일부분이 결정화 상태로 남게 되어, 원하는 비정질상의 저항값을 가지지 못하게 된다. 또한 녹는점이 높으면 용융시키는데 큰 에너지가 필요하게 되어 소비 전력이 클 뿐만 아니라 인접 셀과의 간섭 효과(cross-talk)도 일으키는 단점이 있다.

따라서 새로운 상변화 메모리 재료 개발이 요구되는데, 이러한 대안으로 급부상한 물질은 바로 In-Sb-Te (IST) 및 Ag-In-Sb-Te (AIST) 계열 물질이다. 이 물질들은 이미 기존의 CD-RW, DVD-RW 등 광학디스크에 사용되고 있으며, 또한 낮은 리셋 전류로 동작 가능하다는 점과 다른 상변화 메모리 재료의 단점으로 제기된 낮은 결정화 온도와 높은 녹는점을 보완하는 물질로 결정화 속도가 빠르다는 장점이 있다.

특히, IST 화합물은 비정질과 결정질 사이의 저항차이뿐만 아니라 결정상 중 발생된 결정구조에 따른 저항차이로 Multi-Level 쓰기가 가능하다고 보고되었다 (Daly-Flynn & Strand, 2003). 이러한 연구 결과는 최근 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 와 Sb_2Te_3 화합물을 이용하여 Double-layer 구조로 상변화 메모리 셀을 구성하는 것보다 효과적이다 (Rao et al., 2007). IST 화합물의 특성이 그것의 미세구조와 밀접한 관계를 가지고 있는데, 현재까지 재료의 구조를 원자배열 수준으로 관찰한 연구가 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 상변화 메모리 재료로 사용 가능한 IST 화합물을 고분해능 투과전자현미경 (HRTEM)을 사용하여 이들 재료의 결정화 거동 및 미세 구조를 원자배열 수준으로 관찰하였다.

재료 및 방법

본 실험에서는 IST 박막을 증착하기 위해 RF 마그네트론 스퍼터링법을 이용하였다. 타겟(target) 물질로는 순도 99.99%, 직경 3인치의 $\text{In}_3\text{Sb}_2\text{Te}_2$ 단일 타겟을 사용하였고 높은 파워에서 타겟의 균열 및 깨짐을 방지하기 위해서 Cu plate에 back bonding 하였다. RF 파워는 40 W에서 증착하였으며 챔버의 초기 진공도는 3×10^{-7} torr 이하로 유지하였고 Ar 가스 유량은 6 sccm이었으며 Ar 공정 압력은 3.5, 5, 7.5, 10,

15, 20 mtorr로 변화시켰다. 위의 RF 파워, Ar 압력 변수에서 각각 증착 속도를 구한 뒤, 100 nm로 균일하게 증착하였다. 기판(substrate)은 Si 기판을 사용하였고, 기울어진 타겟으로부터 균일하게 증착하기 위하여 기판 홀더를 회전시켰다.

증착된 박막의 결정화 거동 및 미세 구조를 살펴보기 위해 as-dep 상태의 투과전자현미경(TEM) 시편을 제작한 후 동일한 조건으로 as-dep 상태의 TEM 시편을 RTA (rapid thermal anneal)로 열처리하였다. 초기 진공을 5×10^{-3} torr로 유지시킨 후 로터리 펌프를 끄고 Ar gas로 RTA 석영 챔버를 각각의 열처리 온도에 도달할 시 상압과 비슷하게 되도록 불어 넣은 다음 Ar 가스를 차단하고 열처리하였다. 열처리 온도는 300°C, 350°C, 400°C, 450°C에서 5분씩 실행하였고, 열처리 후 공랭을 실시하였다.

TEM 시편은 기계적 연마법을 사용하여 제작했으며, 기판 위에 증착된 IST 박막을 자른 후 2-ton 에폭시(epoxy)를 사용하여 박막끼리 붙여서 기계적 연마를 한 후 이온 밀링(ion milling) 하였다. 이온 밀링시 가속 전압은 5.0kV, 빔 전류(beam current)는 0.6 mA로 사용하였다. 이온 밀링 각도는 초기에는 12°를 유지하다가 시편에서 어느 정도 fringe가 보일 경우 8°로 줄여서 밀링하였다. 본 연구에서는 JEOL사의 JEM-3010 (300 kV) 투과전자현미경을 이용하여 IST 박막의 미세구조를 분석하였다.

결과 및 고찰

IST 박막을 열처리한 후 투과전자현미경으로 관찰된 명시야 상(bright-field image)과 제한시야 회절상(selected area diffraction pattern)을 Fig. 1에 나타내었다. 박막의 결정화 거동을 살펴보기 위해 앞서 언급한 것처럼 하나의 TEM 시편을 각 온도별로 (a) 300°C, (b) 350°C, (c) 400°C, (d) 450°C 열처리한 후 동일한 영역을 관찰하였으며 화살표로 표시하였다. 시편을 열처리한 후 박막의 두께 변화를 살펴보면 각 온도별 두께가 110.63 nm, 110.25 nm, 103.17 nm, 99.46 nm로 감소하는 것을 관찰하였다. 이러한 결정화 온도에 따른 박막의 두께 변화는 초기 비정질 상태에서 온도가 증가할수록 무질서하게 배열되었던 원자들이 규칙적인 배열을 이루면서 부피 수축에 따른 두께 감소로 생각될 수 있다. 실제 상변화 메모리 소자를 제작할 경우 전기 저항으로 발생된 줄 열에 의해 상변화 재료의 두께 감소가 일어날 경우 전극과의 계면에서의 접촉 문제가 일어날 가능성이 있다. 이러한 상변화 물질과 전극과의 접촉 문제를 줄이기 위해 접촉 면적을 최소화하여 소비전력을 감소시키고 고속 동작을 가능하게 하기 위한 edge contact의 소자의 구조도 연구되고 있다 (Ha et al., 2003).

또한 결정화가 진행될수록 결정립의 크기가 증가하는 것

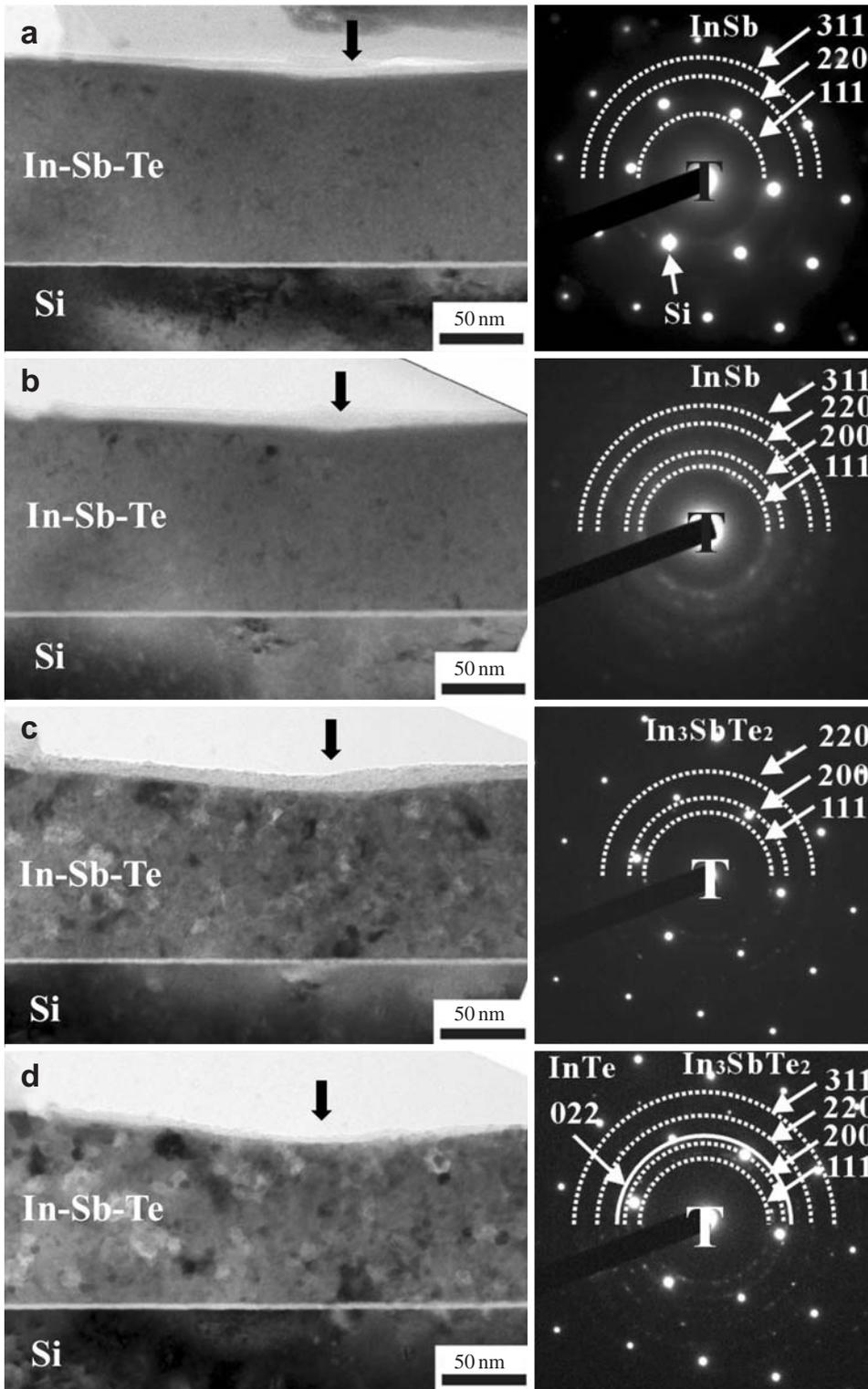


Fig. 1. Cross-sectional bright-field transmission electron microscopy images (left side) and the corresponding selected area electron diffraction patterns (right side) of an In-Sb-Te thin film grown on an Si (001) substrate annealed at (a) 300°C, (b) 350°C, (c) 400°C and (d) 450°C.

을 확인할 수 있다. 이전 연구에 의하면 약 280°C에서 IST 박막이 결정화된다고 보고되었다(Maeda et al., 1988). Fig. 1(a)에서 보듯이 대부분 비정질 상태로 존재하지만 작은 영역에서 결정화가 이루어진 것을 확인하였다. 결정립의 크기

는 약 5~10 nm 정도의 크기를 가지며, 열처리 온도가 증가하여 Fig. 1(b) 350°C에 도달하였을 때 결정립의 크기는 약 10~15 nm로 결정립의 성장이 이루어진 것을 관찰하였다. 이러한 결과는 SAED에서도 확인할 수 있는데, 300°C보다

350°C에서 회절링이 더욱 강하고 많은 회절점들을 나타내고 있다. 회절패턴은 Fig. 1(a), (b) 모두 InSb 상으로 확인되었다. 그러나 IST 삼원계 상태도에서는 430°C 이하 영역에서 InSb와 InTe 상이 공존하지만(Villars et al., 1994), 실제 박막의 350°C 이하 영역에서 InSb 상만이 존재하는 것으로 확인된다. 이러한 결과는 IST 박막의 경우 벌크 상태와 다른 비평형 상태에서 상변화가 이루어진 결과라 생각된다. 또한 Fig. 1(c) 400°C, (d) 450°C에서 살펴보면, 열처리 온도가 증가함으로써 결정립의 수가 증가하였고, 결정립의 크기는 대략 20~25 nm 정도로 결정립이 성장한 것을 확인할 수 있다. SAED를 살펴보면 400°C, 450°C에서 대부분 In_3SbTe_2 상이 관찰되었는데, 450°C 시편의 경우 InTe 상의 (022) 회절패턴이 관찰되었다. 이전 연구에 의하면 400°C 이상의 온도에서 대부분 In_3SbTe_2 상과 미소영역에서 InTe와 In_2Te_3 상이 공존한다는 결과가 보고되었다(Men et al., 1997). 400°C 이상의 온도에서 화학양론 조성에 따라 In_3SbTe_2 상의 생성이 이루어져야 하나, 화학양론 조성을 약간 벗어난 영역에서 InTe 상분리가 일어난 것으로 생각된다. 상변화 재료에 있어서 상분리는 결정화 속도를 감소시키고 실제 소자에서 고속 동작을 방해하는 단점으로 보고되었다(Chen et al., 1986). IST 화합물의 경우 555°C 이상의 온도에서 InTe 상이 안정한 상태로 존재하는 것을 상태도를 통해 알 수 있는데, 이보다 낮은 온도에서 생성된 InTe 상이 준안정상인 In_3SbTe_2 와 어떤 결정학적 관계가 있는지에 대해 추가적인 실험이 필요할 것으로 예상된다.

Fig. 2(a) 300°C와 (b) 350°C로 열처리한 IST 박막의 HRTEM 사진과 고속 푸리에 변환(FFT) 사진을 나타내었다. 300°C 열처리한 박막은 비정질 상태에서 결정화 온도인 280°C보다 약간 높은 온도로 열처리 되었기 때문에 초기 핵생성 이후 5~10 nm의 작은 크기를 갖는 결정립들이 생성됨을 HRTEM 사진을 통해 확인할 수 있다. 이들 결정립들의 면간거리를 계산한 결과 InSb 상의 (111) 면으로 확인되었다. InSb 상은 F-43m (216)의 공간군(space group)을 가지며 Zincblende 구조로 격자상수(a_0)는 약 6.476Å이며 In 원자가 (0,0,0) 자리에 위치해 있고 Sb 원자가 (1/2,1/2,1/2) 자리에 위치해 있다. 300°C에서 결정화된 HRTEM 사진의 InSb 상 영역에서 FFT한 결과 (111)면들이 회절점들만 나타날 뿐 다른 면들에 관한 추가 회절점들이 나타나 있지 않은 것을 확인할 수 있다. 그러나 350°C 열처리한 IST 박막에서는 부분적으로 비정질 상태의 영역이 존재하고 있으나 대부분의 결정립들이 성장한 InSb 상을 이루고 있는 것을 확인할 수 있다. 또한 FFT 결과에서도 동일한 영역에서 (111) 회절점뿐만 아니라 (220) 회절점들이 나타난 것을 관찰하였다. 앞서 초기 결정화가 이루어진 300°C 열처리한 시편의 경우 결정립들이 무질서한 배열을 이루고 있었으나, 350°C 열처리한 시편의 경우 결정립의 크기가 비교적 작지

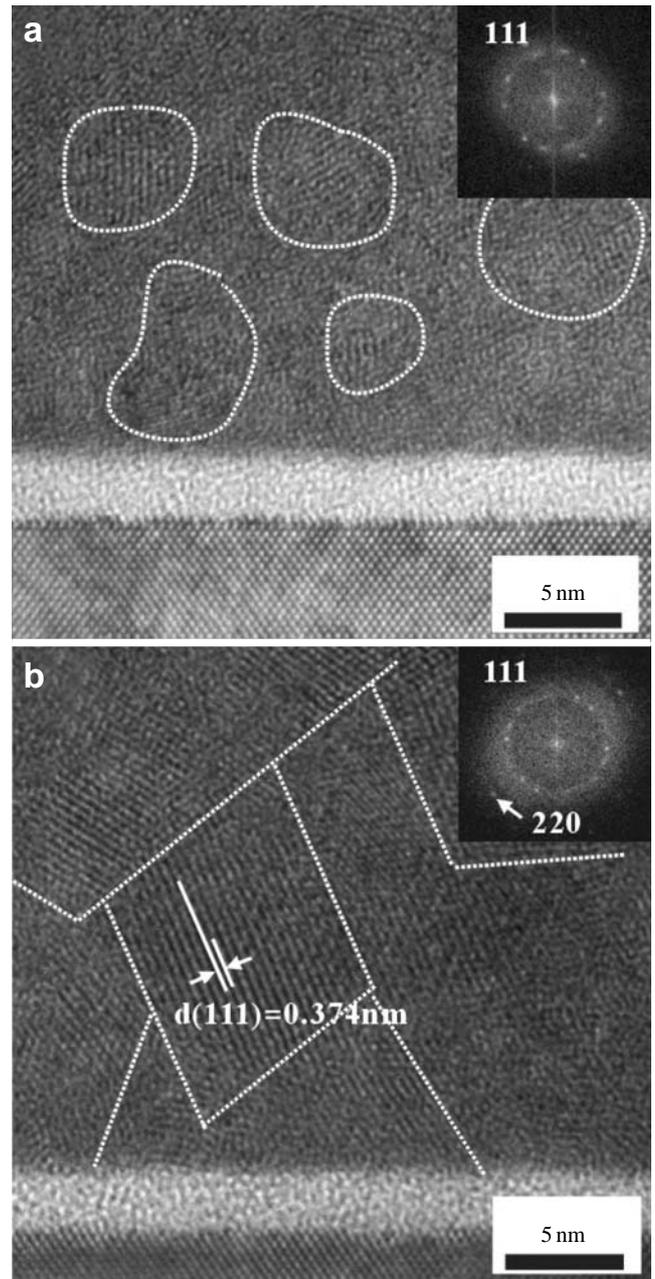


Fig. 2. High resolution transmission electron microscopy images and fast-Fourier transformation images of In-Sb-Te thin films annealed at (a) 300°C, (b) 350°C. (a) About 5 nm-sized InSb phases were randomly existed in the amorphous matrix. (b) It was observed 10~15 nm InSb grains formed {111} facet planes.

만 {111} facet 면을 갖고 있으며 Fig. 2(b)에 {111} facet 면들을 표시하였다. 면심입방(fcc) 구조를 갖는 결정에서 각각의 계면에너지는 결정 표면에서 끊어진 결합띠의 수에 따라 결정되는데, {111}, {200}, {220} 면을 따라 증가한다(Porter et al., 1981). 그러므로 면지수 순으로 표면에너지가 증가하는데, 면심입방 격자를 갖는 InSb 상은 {111} 면들이

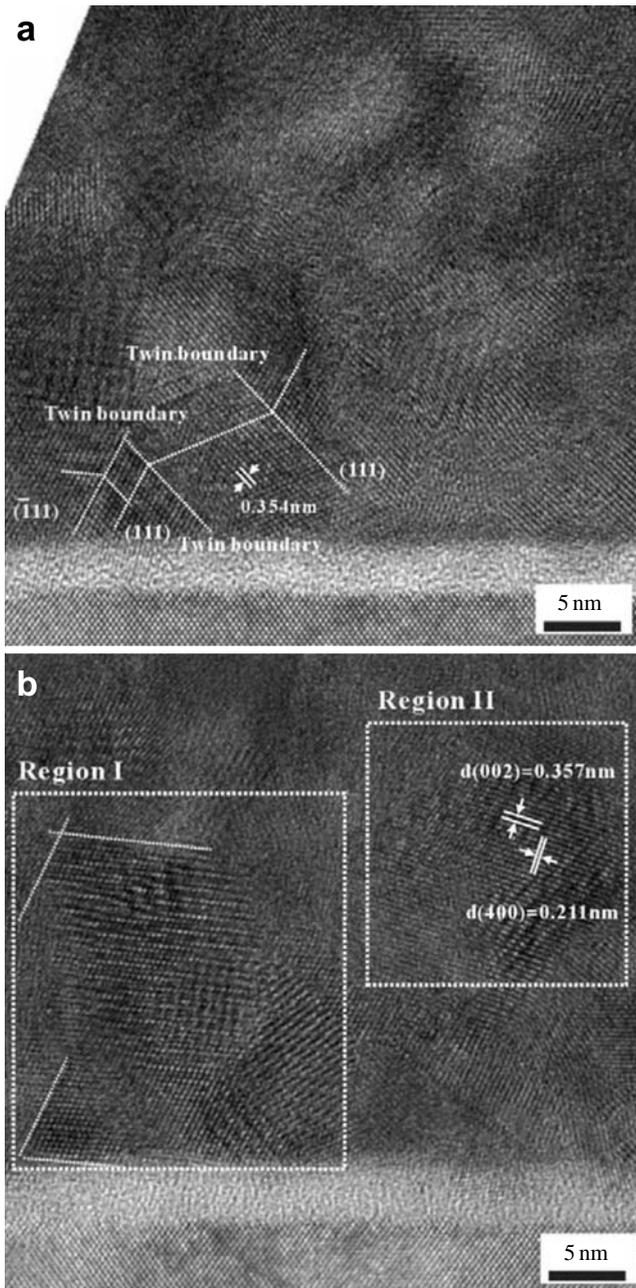


Fig. 3. High resolution transmission electron microscopy images of In-Sb-Te thin films annealed at (a) 400°C, (b) 450°C. (a) In_3SbTe_2 phase have micro-twins with a $\{111\}$ mirror plane. (b) It shows the extinction of twin defects in In_3SbTe_2 phase (region I) and InTe phase was formed (region II), respectively.

가장 낮은 표면에너지를 가지므로 HRTEM 사진에서 $\{111\}$ facet 면이 존재하게 된다.

Fig. 3(a) 400°C와 (b) 450°C로 열처리한 IST 박막의 HRTEM 사진을 나타내었다. 두 시편 모두 동일영역에서 In_3SbTe_2 상이 관찰되었다. In_3SbTe_2 의 구조는 Fm-3m (225)의 공간군을 가지며 NaCl 결정구조를 가지고 있다. 격자상

수는 6.126Å으로 In 원자가 (0,0,0) 자리에 위치하고 Sb 원자와 Te 원자가 (1/2,1/2,1/2) 자리에 불규칙하게 분포하고 있다. NaCl 구조에서 각각 원자의 배위수를 만족시키기 위해서는 In_4SbTe_3 상이 존재해야 하나 이 상의 경우 고온 고압에서 존재한다고 보고되었다. 따라서 상온에서 존재하는 In_3SbTe_2 상은 약 16.6%의 vacancy가 In, Te 원자 자리에 존재하고 있다(Deneke & Rabenau, 1964). 앞서 350°C 열처리 시편에서 관찰된 InSb와 400°C에서 관찰된 In_3SbTe_2 모두 각각 In 원자가 (0,0,0) 자리에 위치한 fcc 격자를 가진 Zincblende와 NaCl 구조를 가지고 있다. Zincblende 구조에서 (1/4,1/4,1/4)에 위치한 원자가 (1/2,1/2,1/2) 자리로 이동함으로써 NaCl 구조로 상변태가 일어난다고 보고되었다(Sowa, 2003). 본 실험에서 Zincblende 구조의 InSb상이 NaCl 구조의 In_3SbTe_2 상으로 상변태가 일어나는데, (1/4, 1/4, 1/4)에 위치한 Sb 원자가 (1/2,1/2,1/2) 자리로 이동하고, Te 원자가 Sb 원자 무작위로 치환함으로써 상변태가 이루어진 것으로 예상된다. 실제 Sb^{3-} 의 이온반경은 245 pm이며 Te^{2-} 의 이온반경은 221 pm로 격자상수가 6.476Å에서 6.126Å로 감소한 것을 확인할 수 있다. 또한 400°C 열처리한 IST 박막에서 마이크로 트윈(micro twin)들이 관찰되었다. 이러한 쌍정립계(twin boundary)는 fcc의 조밀적층면인 $\{111\}$ 면을 따라 양쪽으로 70.5°의 각을 이루면서 거울상 뒤틀림이 발생하여 교차하는데, 결정립의 격자점과 일치하는 정합(coherent) 쌍정립계를 이룬 것을 확인할 수 있다. Fig. 3(b)의 region 1은 400°C에서 관찰된 동일영역을 나타내었다. 450°C 열처리 박막을 살펴 보면 400°C에서 쌍정립계를 경계로 격자점들이 대칭을 이루었던 In_3SbTe_2 결정립들이 주기적인 배열을 이루며 결정립 성장이 이루어진 것이 관찰되었다. 또한 region 2 영역에서 InTe 상이 관찰되었는데, InTe 합금은 대기압 하에서 안정한 TlSe 형태로 I4/mcm (140)의 공간군을 가지며 격자상수 $a_0=8.454\text{Å}$, $b_0=7.152\text{Å}$ 를 가지고 있다. InTe의 경우 $\text{In}^+\text{In}^{3+}\text{Te}^{2-}_2$ 의 형태로 원자가 결합되어 있고, (0,1/2,1/4) 위치의 $\text{In}(\text{In}^{3+})$ 원자가 사면체 자리의 Te 원자에 의해 둘러싸여 있으며, $\text{In}(\text{In}^{3+})$ -Te 결합은 공유결합을 하고 있다. 반면 (0,0,1/4) 위치의 $\text{In}(\text{In}^+)$ 원자는 (0.1821,0.6821,0) 위치의 Te 원자 8개로 둘러싸여 있다. 이러한 이유는 In^+ 와 In^{3+} 이온들이 화학적으로 안정한 결합 길이를 갖고 각각의 가전자 수를 맞추기 위해 Te 원자가 정확히 In 원자의 사면체 자리에 위치하지 않고 약간 기울어져서 서로 다른 결정학적 위치를 차지하게 된다(Lebedev et al., 2000). 이러한 InTe 상은 555°C 이하의 온도에서 포정(peritectic) 반응을 통해 In_3SbTe_2 상으로 상변태가 일어나는데, 450°C에서 관찰된 InTe 상은 불평형 상태에서 상변태가 이루어진 것이라고 생각된다. 또한 두 상의 면간거리를 비교해보면 InTe의 (002)면은 약 0.357 nm이고 In_3SbTe_2 의 (111)면은 약 0.354 nm로 면간거리가 거의 비슷함을 확인할

수 있다. 실제로 InTe 상의 경우 고압에서 TlSe tetragonal (B37) 상에서 NaCl (B1) 상으로 상변태가 이루어진다고 보고되었다(Chattopadhyay et al., 1985). 이때 NaCl 구조의 InTe 상은 격자상수가 In_3SbTe_2 상의 격자 상수와 동일함데, 이와 같은 결과를 토대로 InTe와 In_3SbTe_2 상간의 구조변화가 가능하리라 생각된다.

참 고 문 헌

- Chattopadhyay T, Santandrea RP, Schnering HG: Temperature and pressure dependence of the crystal structure of InTe: A new high pressure phase of InTe. *J Phys Chem Solids* 46(3) : 351-356, 1985.
- Chen M, Rubin KA, Barton RW: Compound materials for reversible, phase-change optical data storage. *Appl Phys Lett* 49(9) : 502-504, 1986.
- Daly-Flynn K, Strand D: InSbTe phase-change materials for high performance multi-level recording. *Jpn J Appl Phys* 42: 795-799, 2003.
- Deneke K, Rabenau A: Uber die natur der phase In_3SbTe_2 mit kochsalzstruktur. *Z anorg allgem Chem* 333 : 201-208, 1964.
- Ha YH, Yi JH, Horii H, Park JH, Joo SH, Park SO, Chung U-In, Moon JT: An edge contact type cell for phase change RAM featuring very low power consumption. *IEEE Symposium on VLSI Tech Dig* : 175-176, 2003.
- Lebedev AI, Michurin AV, Sluchinskaya IA, Demin VN, Munro I: Structure and electric properties of $\text{InTe}_{1-x}\text{Se}_x$, $\text{In}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Te}$ and $\text{In}_{1-x}\text{Tl}_x\text{Te}$ solid solutions. *Crystallogr Rep* 45(4) : 555-559, 2000.
- Maeda Y, Andoh H, Ikuta I, Minemura H: Reversible phase-change optical data storage in InSbTe alloy films. *J Appl Phys* 64(5) : 1715-1719, 1988.
- Men L, Jiang F, Gan F: Short-wavelength phase-change optical data storage in In-Sb-Te alloy films. *Mat Sci Eng B-Solid* 47 : 18-22, 1997.
- Ovshinsky SR: Reversible electrical switching phenomena in disordered structures. *Phys Rev Lett* 21(20) : 1450-1453, 1968.

- Porter DA, Easterling KE: Phase transformations in metals and alloys, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 110-116, 1981.
- Rao F, Song Z, Zhong M, Wu L, Feng G, Liu B, Feng S, Chen B: Multilevel data storage characteristics of phase change memory cell with doublelayer chalcogenide films ($\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ and Sb_2Te_3). *Jpn J Appl Phys* 46(2) : L25-L27, 2007.
- Sowa H: Relations between the zinc-blende and the NaCl structure type. *Acta Cryst A* 59 : 266-272, 2003.
- Villars P, Prince A, Okamoto H: Handbook of ternary alloy phase diagrams, ASM International, pp. 12018-12034, 1994.

< 국문초록 >

상변화 메모리 재료로 사용 가능한 In-Sb-Te (IST) 박막을 RF 마그네트론 스퍼터링법을 사용하여 증착한 후 열처리를 통해 온도에 따른 결정화 거동 및 미세구조를 투과전자현미경(TEM)을 통해 분석하였다. IST 박막은 as-dep 상태에서 비정질상으로 존재하였으며, 열처리 온도에 따라 결정상인 InSb, In_3SbTe_2 , InTe 으로 상변화가 일어났다. 이러한 상변화는 기존의 삼원계 상태와 다른 비평형 상태에서의 상변태가 이루어짐을 확인할 수 있다. 상변화 과정 중 박막의 두께가 무질서하게 배열되었던 비정질상에서 규칙적인 배열을 갖는 결정질상으로 변할수록 감소하는 경향을 확인하였다. 또한 각각의 결정립의 크기도 온도가 증가할수록 증가하는 것을 관찰하였다. 특히, 350°C 열처리한 박막의 InSb 상은 비정질 상태에서 표면에너지가 가장 낮은 {111}면을 따라 facet을 이루며 결정화가 이루어졌다. 온도가 증가함에 따라 In_3SbTe_2 로 상변화가 일어났는데, 400°C 열처리한 시편의 경우 미소영역에서 마이크로 트윈들이 관찰되었다. 이 면결함은 {111}면을 따라 양쪽의 격자점들이 일치하는 정합 쌍정립계를 이루고 있었으며, 450°C에서 동일영역을 관찰해 본 결과 쌍정 결함들이 치유되어 {111} facet 면을 이루고 있는 것을 확인하였다. 또한 비교적 작은 영역에서 상분리가 일어난 InTe 상도 관찰하였다. InTe 상의 경우 포징반응 온도인 555°C보다 낮은 온도에서 관찰되었는데, InTe의 (002)면과 In_3SbTe_2 의 (111)면이 비슷한 면간거리를 가지고 있음을 확인하였다. 추가적으로 500°C 이상의 온도에서 이들의 결정학적 관계에 따른 상변화 과정에 연구가 수행되어야 할 것으로 생각된다.