

The magnetic properties of high spin-polarized Co_2MnSi Heusler alloy filmKorea Institute of Science and Technology J.K.Kim, S.H.Han, K.H. Shin, H.J.Kim
Korea University S.H.Lim

서 론

호이슬러 합금(Heusler alloy)은 이론적으로 제일원리계산에 의하여 스핀분극율이 100%에 이르는 것으로 알려졌으나, 현재까지 명백하게 100 % 스핀분극되는 재료인지는 분명치 않아 보인다. 그럼에도 불구하고, 제일원리계산에 의한 상태밀도함수에 대한 계산을 통하여 그 가능성을 보여주고 있으며, 정확한 조성제어와 X_2YZ 로 구성되는 X, Y, Z 원자의 site disordering의 최소화와 $L2_1$ 구조의 확립을 통하여 스핀분극율의 개선은 기대할 수 있을 것으로 보인다. 스핀분극은 강자성금속의 페르미 레벨에서 발생하는 업-스핀 전자(Up-spin electron)와 다운-스핀 전자(Down-spin electron)의 부조화로서 발생하며[1], 현재까지 알려진 자기전자소자에 사용되는 Fe-Co-Ni 합금 계열의 스핀 분극율은 40~45% 정도로 알려져 있고, CoFe의 경우 51~54%까지 나타나는 것으로 보고되고 있다[2,3]. 이때의 자기저항비는 최대 약 50% 정도 되는 것으로 보고되고 있지만, 이마저도 공정과정동안에 발생하는 격자나 계면에서의 결함으로 인하여 성능저하가 발생하여 쉽게 이루어지지 않는다.[2] 현재까지 알려진 기존의 연구결과에서는 Co, Mn, Si을 이용한 호이슬러 합금의 스핀분극율은 실험적으로 50 ~ 60 % 정도인 것으로 보고되고 있으며, 호이슬러 합금박막을 이용하여 터널자기저항소자 등에 응용하기 위한 연구도 진행되고 있다. 본 연구에서는 호이슬러 합금박막의 형성기술을 확립한 후, 전자의 스핀을 이용한 나노소자에 대한 응용가능성을 알아보고자 하였다.

실험방법

호이슬러 합금박막은 마그네트론 스퍼터링 방법을 이용하여 Co_2MnSi 합금타겟과 Co, Mn, Si 타겟을 동시증착하였으며, 결정성장을 돕기 위하여 V 씨앗층을 사용하였다. 호이슬러 합금박막의 자기특성은 박막의 결정구조와 원소들의 위치가 뒤바뀌는 site-disordering에 큰 영향을 받는다. 따라서 최적화된 Co_2MnSi 합금박막을 얻기 위하여, 증착중 기판의 온도를 473 K에서 873K로 변화시켰다. 호이슬러 합금 박막의 자화값은 AGM(Alternative Gradient Magnetometer)과 VSM(Vibrating Sample Method)로 측정하였으며, 결정구조의 분석은 XRD(X-Ray Diffraction), 각 원소의 조성분석은 EPMA(Electron Probe Micro-Analysis)로 분석하였다.

연구결과 및 고찰

Fig. 1 (a)의 XRD 패턴은 573 K 이상의 증착온도에서 나타나는 Co_2MnSi 박막의 결정구조상을 나타낸다. (111) 초격자 회절패턴을 나타내는 31° 부근의 피크가 발달하지 않은 것은 Mn과 Si의 조성비제어가 정확하지 않음을 보여준다. 또한, 45° 부근의 (200) 초격자 피크를 통하여 Co의 ordering을 확인할 수 있다. 따라서 (111) 피크와 (200) 피크를 통해서 $L2_1$ 구조를 확인할 수 있으며 이보다 낮은 기판의 증착온도에서는 초격자 회절 패턴이 사라짐을 확인하였다. 이것은 Co_2MnSi 이 $L2_1$ 구조를 형성하는데 필요한 열처리 온도를 보여주며, Si을 기판으로 사용할 때 나타나는 매우 폭넓은 (220) 피크는 결정구조 형성의 초기로 볼 수 있다. Co_2MnSi 이 사파이어 기판 위에 증착이

되었을 때 (110) 우선배향의 결정구조를 형성하는 것이 보고되었고[4], 따라서 Co_2MnSi 의 결정구조를 개선하기 위하여 V을 씨앗층으로 사용하였는데, 이 경우 기판의 종류에 관계없이 (110) 결정구조가 형성되는 것으로 보고 되고 있다.

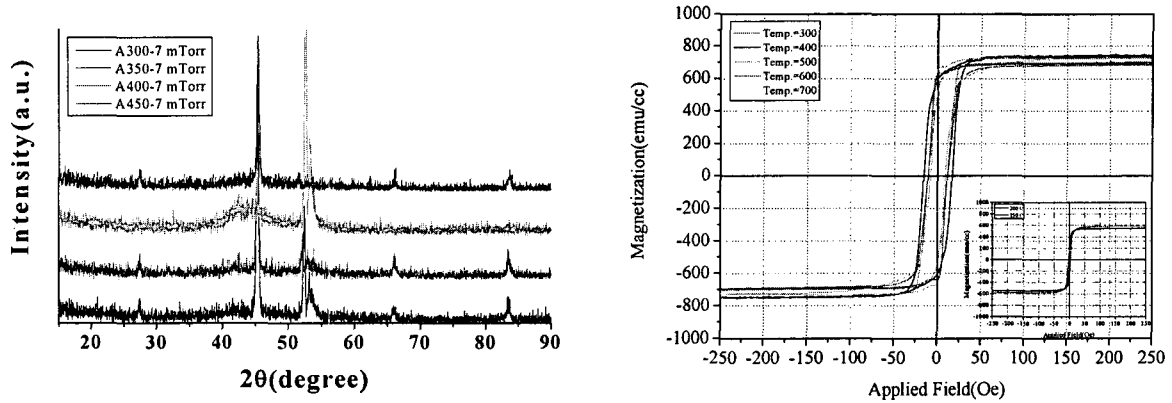


Fig. 1 (a) The XRD patterns with substrate temperature for the Si(111)/SiO₂(150 nm)/V(40nm)/Co₂MnSi(120 nm), (b) Magnetic hysteresis loops of measured at room temperature 5K for the Heusler-phase Co₂MnSi ; inset graph shows the M-H loops at 473K, 523K.

Mn 원자는 3 μB 정도의 큰 값을 가지고 있고 반면에 Co 원자는 1 μB 정도에 해당하는 양의 값을 가지고 있다. Si 원자는 Co 원자와 Mn 원자에 비해 -0.1 μB 정도로 반강자성적으로 스핀 분극된다. 따라서 단위셀에서의 자화값은 정확한 조성비와 L₂₁ 구조를 가질 경우 약 4.7 ~ 5 μB 정도가 되는데, 본 실험결과는 타 연구결과에서 측정된 값에 비해 약간 작은 것을 알 수 있다[5,6]. Mn 원자의 자화값은 격자 상수의 크기에 따라 조금씩 변하는 것으로 알려져 있으며, 이는 *d-d* 전도대의 중첩을 감소시키고 결과적으로 큰 교환상호작용을 일으키는 것으로 알려져 있다[7]. Fig. 1(b)에서 포화자화값이 감소하는 것은 B2 혹은 A2-타입과 같은 단위 셀들의 불완전한 ordering인 것으로 생각되며, 또한 Co 하부격자에 Mn 원자들의 치환이 일어나는 site disordering 때문인 것으로 생각된다. 특히, 573 K 이하의 온도보다 그 이상의 증착온도에서 포화자화값이 증가하는 것은 B2 혹은 A2 사이트의 불안정한 상이 줄어들고 L₂₁ 구조와 관계있는 안정한 상으로 전이하기 때문인 것으로 생각된다.

한편, Co₂MnSi 박막의 스핀분극율을 측정하는 방법으로는 PACR(Point Contact Andreev Reflection)법이 있으나, 국내에서 측정하는데 어려움이 있다. 따라서, 호이슬러 합금을 이용한 CPP-GMR 혹은 TMR 효과를 측정한 후, Juliere's model을 이용하여 호이슬러 합금에서의 스핀분극율을 측정해보고자 한다.

참고문헌

- [1] G. A. Prinz, Science, 282, 1660(1998).
- [2] R. J. Soulen, et al., Science 282, 85(1998).
- [3] J. Moodera and G. Mathon, J. Magn. Magn. Mater., 200, 248(1999).
- [4] U. Geiersbach, A. Bergmann and K. Westerholt, J. Magn. Magn. Mater. 240, 546(2002).
- [5] M. P. Raphael, S. F. Cheng, et al., MRS Proceeding, Spring Meeting, 2001.
- [6] T. Ambrose, J. J. Krebs, and G. A. Prinz, J. Appl. Phys. 87, 5463
- [7] T. Asada and K. Terakura, Phys. Rev. B47, 15992(1993).