ISSN (Print) 1598-5385
ISSN (Online) 2233-6648
≪연구논문≫ Journal of the Korean Magnetics Society 27(6), 206-209 (2017) https://doi.org/10.4283/JKMS.2017.27.6.206

# Dependence of NM Layer-thickness on Magnetic Property of CoSiB/NM/CoSiB Trilayers with Perpendicular Magnetic Anisotropy (NM = Pt, Pd)

**Sol Jung**
*Department of Physics, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Korea*

**Haein Yim***
*Department of Applied Physics, Sookmyung Women's University, Seoul 04310, Korea*

**Nam-Hui Kim and Chun-Yeol You**
*Department of Emerging Materials Science, DGIST, Daegu 42988, Korea*

(Received 5 October 2017, Received in final form 16 November 2017, Accepted 17 November 2017)

CoSiB is the amorphous ferromagnetic material and the thin-film consisting of CoSiB, Pt and Pd has perpendicular magnetic anisotropic property. We have been studied the magnetic property of trilayers consisting of the $Co_{75}Si_{15}B_{10}$, Pt and Pd. In this paper, we investigated the magnetic property of the [CoSiB 15 Å/Pt or Pd (8, 11, 14, 17, and 24 Å)/CoSiB 15 Å] trilayers and found dependence of thickness of Pt or Pd layer on the magnetic property. The trilayer is measured by VSM and analyzed coercivity and saturation magnetization. The coerivity of CoSiB/Pt/CoSiB trilayer system is higher than it of CoSiB/Pd/CoSiB trilayer system. However the saturation magnetization of CoSiB/Pt/CoSiB trilayer is lower than it of CoSIB/Pd/CoSiB trilayer system. All values of two system samples decreased with increasing the thickness of Pt and Pd layer.

**Keywords :** CoSiB, CoSiB/Pt/CoSiB, CoSiB/Pt/CoSiB, thin-film, perpendicular magnetic anisotropy

# Pt, Pd층의 두께가 CoSiB/Pt/CoSiB 및 CoSiB/Pd/CoSiB 박막의 자기적 특성에 미치는 영향

**정솔**
숙명여자대학교 물리학과, 서울시 용산구 청파로47길 100, 04310

**임혜인***
숙명여자대학교 응용물리전공, 서울시 용산구 청파로47길 100, 04310

**김남희 · 유천열**
대구경북과학기술원 신물질과학전공, 대구시 달성군 현풍면 테크노중앙대로 333, 42988

(2017년 10월 5일 받음, 2017년 11월 16일 최종수정본 받음, 2017년 11월 17일 게재확정)

CoSiB은 비정질 구조를 갖는 강자성체 물질이며, CoSiB과 Pt, Pd를 포함한 박막은 수직자기이방성을 갖는다. 우리는 비정질 강자성체 $Co_{75}Si_{15}B_{10}$, Pt, Pd를 포함하는 삼층 박막을 제작하여 그 자기적 특성을 연구하였다. 본 연구는 [CoSiB 15 Å/Pt 또는 Pd(8, 11, 14, 17, 24 Å)/CoSiB 15 Å] 삼층 박막을 제작하였으며, 제작한 삼층 박막은 VSM 측정을 통해 Pt 및 Pd의 두께에 따른 그 자기적 특성의 변화를 살펴보았다. 보자력의 경우 Pt를 이용한 삼층 박막이 Pd를 이용한 삼층 박막보다 전체적으로 높은 수치를 보이는 것으로 관찰되었으며, 포화자화값의 경우 Pd를 이용한 삼층 박막이 Pt를 이용한 삼층 박막보다 전체적으로 더 높

© The Korean Magnetics Society. All rights reserved.
*Corresponding author: Tel: +82-2-710-9239,
Fax: +82-30-3079-90362, e-mail: haein@sm.ac.kr

은 수치를 보이는 것으로 관찰되었다. 또한 보자력과 포화자화값은 모두 Pt 및 Pd의 두께가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

**주제어** : 비정질, CoSiB/Pt/CoSiB, CoSiB/Pt/CoSiB, 박막, 수직자기이방성

## I. 서 론

수직자기이방성(perpendicular magnetic anisotropy)이란 샘플의 표면과 수직한 방향으로 스핀의 자화가 일어나는 현상이다. 스핀은 자화될 때 일반적으로 좁은 공간보다 넓은 공간을 선호하므로 얇은 두께를 가진 박막 형태의 샘플은 구조적으로 수직자기이방성보다 수평자기이방성(in-plane magnetic anisotropy)이 발현되기 쉬운 성질을 가진다. 하지만 특정 조건에서 박막 내에서도 스핀은 수직으로 자화될 수 있으며, 이 수직자기이방성은 1975년 Co/Cr 박막에서 처음으로 발견되었다. 이후 수직자기이방성을 갖는 다양한 구조의 다층박막에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔는데, 특히 고집적화(high-density)된 메모리 칩에 대한 관심이 증가하면서 그 연구가 꾸준히 이루어지고 있는 추세이다[1-6]. 수직자기이방성을 갖는 박막 연구의 최대 관심사는 자화 반전에 필요한 전류를 줄여 전력 손실을 줄이고 열적 안정성을 높이는 것이다. 이를 위해 Co/Pt, Co/Pd 등과 같은 결정질(crystalline) 강자성체층을 포함한 다층박막 및 CoFeSiB/Pt, CoSiB/Pt, CoSiB/Pd 등과 같은 비정질(amorphous) 강자성체를 포함한 다층박막들이 좋은 후보군으로 지목되었다[7-12]. 특히 비정질 강자성체 CoSiB은 높은 자기이방성을 가지며 가공 조건에 따라 다양한 상(phase)를 갖는다는 장점이 있어 그 연구가치가 있다고 보여진다.

본 실험에서는 CoSiB, Pt 및 Pd를 포함한 삼층박막에서 Pt와 Pd 층의 두께를 변화시켰을 때 자기적 특성이 어떠한 변화 추이를 보이는지 실험하였다. CoSiB 타겟의 조건은 본 연구실에서 연구하였던 $Co_{75}Si_{15}B_{10}$(at%) 조성을 차용하였으며, 삼층박막 내 Pt 및 Pd 층 두께 변화에 따른 보자력(coercivity) 및 포화자화값(saturation magnetization)의 변화를 살펴보았다.

## II. 실험 방법

### 1. 박막 증착

본 실험에서는 샘플 박막 제작을 위하여 2인치 금속 타겟이 6개 장착된 DC 마그네트론 스퍼터링 시스템(DC-magnetron sputtering system)을 사용하였다. 해당 기기는 샘플 장착 및 탈착이 이루어지는 로드락 챔버(load-lock chamber)와 장착된 샘플이 마그네틱 바를 이용해 진입되어 실질적인 증착이 이루어지는 메인 챔버(main chamber)로 이루어져 있다. 샘플 기판(wafer)는 메인 챔버 내에서 반시계 방향으로 회전하며, 기판 고정대(holder)와 동축으로 연결되어 있는 광센서를 이용하여 해당 기판이 회전 후 증착하고자 하는 타겟(target) 위에 정확히 위치할 수 있도록 설계되었다. 모든 실험 과정에서 기판은 타겟과 8 cm의 거리를 유지하도록 하였다.

기판으로는 실리콘(100) 위에 1000 Å 두께의 산화막이 형성된 실리콘 산화막 기판을 사용하였으며, 1.4 cm × 1.4 cm 크기의 정사각형으로 절단하여 증착을 준비하였다. 또한 기판 표면의 이물질을 제거하기 위해 아세톤, 에탄올, 3차 증류수에 각각 10분씩 초음파 세척 후 질소 가스로 건조하여 사용하였다. 증착 시 메인 챔버는 아르곤 가스를 이용하여 진공도가 2 mTorr 로 유지시켰으며, 모든 샘플은 실온에서 제작되었다. 박막은 [Ta 50 Å/Pt 또는 Pd 30 Å] 두께의 버퍼층(buffer layer) 위에 [CoSiB 15 Å/Pt 또는 Pd(8, 11, 14, 17, 24) Å/CoSiB 15 Å] 삼층박막을 증착한 뒤 마감층(capping layer)을 [Ta 50 Å]으로 증착한 형태로 제작되었다. 제작된 샘플은 자기적 특성 측정을 위해 VSM(vibrating sample magnetometer)을 이용하여 자기이력곡선(hysteresis loop)을 얻었다.

### 2. VSM 측정

제작된 [CoSiB 15 Å/Pt 또는 Pd(8, 11, 14, 17, 24) Å/CoSiB 15 Å] 삼층박막의 자기적 특성을 분석하기 위하여 제작한 모든 샘플의 VSM 측정을 진행하였다. 측정 시, 샘플 제작 과정에서 박막에 가해준 자기장의 방향과 수직한 축을 자화용이축(easy axis)으로 하여 샘플을 VSM 측정부의 중앙에 위치시켜 측정을 진행하였다. 외부에서 가해준 자장의 크기는 −1 kOe~+1 kOe이며, 포화자화도는 자기이력곡선에서 구한 자화값의 최대값을 증착된 삼층박막의 부피로 나누어 얻었다.

## III. 실험 결과 및 고찰

CoSiB은 비정질 강자성체 물질로써 그 특성이 Co, CoFe 등과 같은 결정질 강자성체 물질과 달라 본 실험에 CoSiB을 사용하였다. 이에 CoSiB이 실리콘(100) 산화막 기판 위에서도 비정질로 증착되는지 확인하기 위해 $Co_{75}Si_{15}B_{10}$ 비정질 타겟을 기판 위에 1000 Å 증착하여 XRD(X-ray diffraction) 측정을 해보았다. 그 결과, Fig. 1과 같은 그래프를 얻을 수 있었다. 결정질 상을 의미하는 peak이 실리콘 이외에 보이지

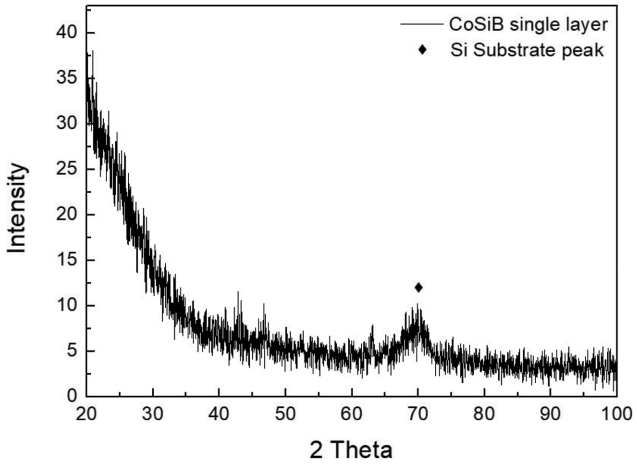


**Fig. 1.** XRD pattern of CoSiB 1000 Å single layer on $SiO_2$ (100) wafer.

않는 것으로 보아 CoSiB 비정질 타겟은 실리콘(100) 산화막 기판 위에서도 비정질 형태로 증착되는 것으로 확인되었다.

Fig. 2는 [CoSiB 15 Å/Pt 또는 Pd(8~24) Å/CoSiB 15 Å] 삼층박막의 자기이력곡선이다. (a)와 (b)는 [CoSiB 15 Å/Pt (8, 11, 14, 17, 24) Å/CoSiB 15 Å] 샘플의 자기이력곡선이며, (c)와 (d)는 [CoSiB 15 Å/Pd(8, 11, 14, 17, 24) Å/CoSiB 15 Å] 샘플의 자기이력곡선이다. CoSiB/Pt/CoSiB 삼층박막의 경우, Pt 층의 두께가 8 Å일 때도 수직자기이방성을 명확히 보이는 반면, CoSiB/Pd/CoSiB 삼층박막의 경우는 Pd 층의 두께가 14 Å이 되어서야 수직자기이방성을 보이기 시작했다. 수직도(squareness) 또한 Pt가 포함된 삼층박막은 Pt 층 두께 8 Å부터 1에 가까운 모습을 보였지만, Pd가 포함된 삼층박막의 경우는 14 Å에서 1에 가까운 모습을 보이는 것으로 확인되었다. 또한 보자력과 포화자화값의 변화 추이를 전체적으로 비교해보면, CoSiB/Pt/CoSiB 삼층박막이 CoSiB/Pd/CoSiB 삼층박막보다 높은 보자력을 보이는 반면, 포화자화값은 낮은 값을 보이는 것으로 확인되었다.

Fig. 3은 [CoSiB 15 Å/Pt 또는 Pd(8, 11, 14, 17, 24) Å/CoSiB 15 Å] 삼층박막의 보자력과 포화자화값을 정리하여 나타낸 그래프이다. CoSiB/Pt/CoSiB 삼층박막의 경우, Pt 층의 두께가 17 Å일 때 85.93 Oe의 가장 높은 보자력을 보였으며, 11 Å일 때 70.54 Oe의 가장 낮은 보자력을 보였다. 또한 Pt 층의 두께가 8 Å일 때 287.53 emu/cc의 가장 높은 포화자화값을 보였으며, 24 Å일 때 206.23 emu/cc의 가장 낮은 포화자화값을 보였다. CoSiB/Pd/CoSiB 삼층박막의 경우에는, Pd 층의 두께가 14 Å일 때 55.49 Oe의 가장 높은 보자력을, 8 Å일 때 36.85 Oe의 가장 낮은 보자력을 보였으며, 11 Å일 때 485.44 emu/cc의 가장 높은 포화자화값을, 8 Å일 때 323.69 emu/cc의 가장 낮은 포화자화값을 보였다. 두 삼층박

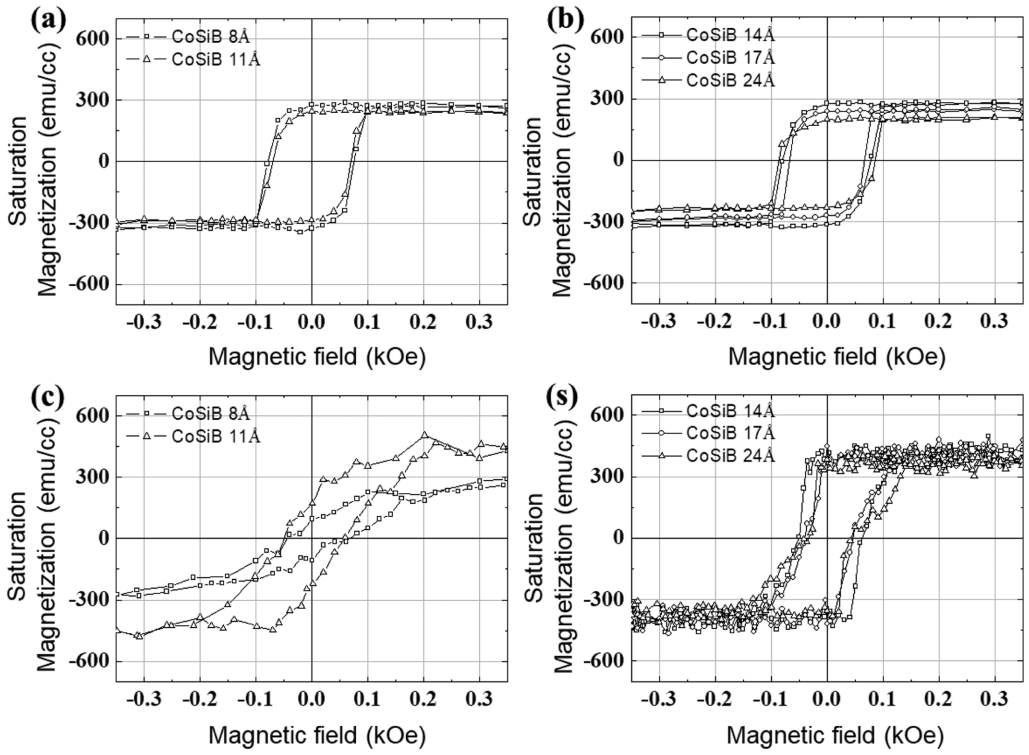


**Fig. 2.** Hysteresis loops of (a) CoSiB 15 Å/Pt (8, 11) Å/CoSiB 15 Å, (b) CoSiB 15 Å/Pt (14, 17, 24) Å/CoSiB 15 Å, (c) CoSiB 15 Å/Pd (8, 11) Å/CoSiB 15 Å, and (d) CoSiB 15 Å/Pd (14, 17, 24) Å/CoSiB 15 Å trilayers.

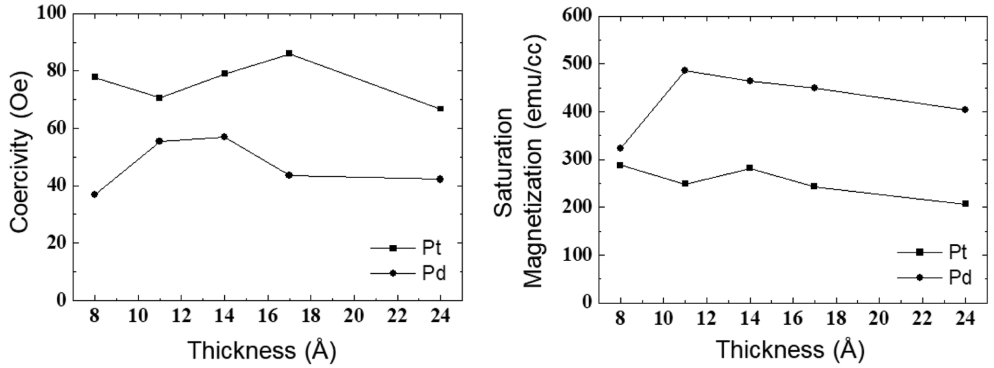


**Fig. 3.** The values of coercivity and the saturation magnetization of CoSiB/Pt or Pd/CoSiB trilayers.

막은 모두 사이층인 Pt와 Pd 층의 두께가 증가함에 따라 포화자화값이 감소하는 경향을 보였으며, 일반적으로 포화자화값은 강자성체층의 두께에 의존하는데 반해 본 실험에서는 강자성체층이 15 Å 두께로 고정되어있음에도 불구하고 포화자화값에 변화가 있었다.

## IV. 결 론

본 실험에서는 수직자기이방성을 갖는 CoSiB/Pt/CoSiB 삼층박막과 CoSiB/Pd/CoSiB 삼층박막을 제작하여, Pt 및 Pd 층의 두께 변화에 따른 삼층박막의 자기적 특성 변화 추이를 살펴보았다. 두 삼층박막은, 포화자화값에 영향을 주는 강자성체층 CoSiB의 두께가 15 Å로 고정되어 변화가 없었음에도 불구하고 포화자화값에 변화가 있었다. 또한 CoSiB/Pt/CoSiB 삼층박막이 CoSiB/Pd/CoSiB 삼층박막보다 높은 보자력을 가지는 것으로 확인되었으나, 포화자화값은 낮은 값을 갖는 것으로 확인되었다. 전체 샘플 중, 가장 높은 보자력(85.93 Oe)을 나타내는 샘플은 [CoSiB 15 Å/Pt 17 Å/CoSiB 15 Å] 삼층박막이었으며, 가장 높은 포화자화값(485.44 emu/cc)을 나타내는 샘플은 [CoSiB 15 Å/Pd 11 Å/CoSiB 15 Å]였다. 본 실험에서 다루어진 CoSiB/Pt/CoSiB 및 CoSiB/Pd/CoSiB 삼층박막의 계면 사이에서 발생하는 다양한 상호작용에 대한 연구는 추후에 더 심도있게 다룰 예정이다.

## References

[1] S.-I. Iwasaki and K. Takemura, IEEE Trans. Magn. **11**, 1173 (1975).
[2] P. F. Carcia, A. D. Meinhaldt, and A. Sunna, Appl. Phys. Lett. **47**, 178 (1985).
[3] N. Nishimura, T. Hirai, A. koganei, T. Ikeda, K. Okant, Y. Sekiguchi, and Y. Osada, J. Appl. Phys. **91**, 5246 (2002).
[4] F. J. A. den Broeder, D. Kuiper, A. P. van de Mosselaer, and W. Hoving, Phys. Rev. Lett. **60**, 2769 (1988).
[5] J. F. Weaver, A. F. Carlsson, and F. J. Madix, Surf. Sci. Rep. **50**, 107 (2003).
[6] G. H. O. Daalderop, P. J. Kelly, and M. F. H. Schuurmans, Phys. Rev. B **50**, 9989 (1994).
[7] J. Z. Sun, Phys. Rev. B **62**, 570 (2000).
[8] F. J. Albert, N. C. Emley, E. B. Myers, D. C. Ralph, and R. A. Buhrman, Phys. Rev. Lett. **89**, 226802 (2002).
[9] K. Yagami, A. A. Tulapurkar, A. Fukushima, and Y. Suzuki, Appl. Phys. Lett. **85**, 5634 (2002).
[10] H.-J. Suh and K.-J. Lee, Curr. Appl. Phys. **9**, 985 (2009).
[11] J. Y. Hwang, J. S. Park, H. I. Yim, T. W. Kim, and S. B. Lee, in Perpendicular magnetic anisotropy in amorphous ferromagnetic CoSiB/Pt mutilayers, Nano Korea 2009 (**PNM188**, KINTEX, Goyang, Korea, August 27 2009).
[12] S. Jung and H. I. Yim, J. Nanosci. Nanotechnol. **15**, 8336 (2015).