

## 수직자기이방성 교환 결합력을 갖는 [CoFe/Pt/CoFe]/IrMn 다층박막에서 진동특성과 IrMn층의 효과

최종구<sup>1</sup>, 이상석<sup>1,2</sup>, 김선욱<sup>2</sup>, 황도근<sup>1,2</sup>, 이장로<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 상지대학교 대학원 기능성전자소재학과, 원주, 220-702

<sup>2</sup> 상지대학교 이공과대학 컴퓨터전자물리학과, 원주, 220-702

<sup>3</sup> 숙명여자대학교 자연과학대학 물리학과, 서울, 140-742

### The oscillatory characteristics and effects of IrMn layer in [CoFe/Pt/CoFe]/IrMn multilayer with exchange-biased perpendicular anisotropy

JongGu Choi<sup>1</sup>, SangSuk Lee<sup>1,2</sup>, SunWook Kim<sup>2</sup>, DoGuwn Hwang<sup>1,2</sup>, and JangRoh Rhee<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Functional Electronic Materials, Graduation, Sangji University, Wonju 220-702

<sup>2</sup> Dept. of Computer & Electronic Physics, College of Science & Engineering, Sangji University

<sup>3</sup> Dept. of Physics, College of Natural Science, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742

#### I. 서론

비자성 금속층 간격으로 분리된 두 강자성체 층 사이에 진동하는 상호교환결합력 (interlayer exchange coupling; IEC)은 수평형상 자기이방성Fe/Cr/Fe 샌드위치 형태나 수직 자기이방성의 Co/Ru 와 Ni/Cu 초격자 다층박막 구조에서 일반적으로 보여지는 현상이다(그림-1 참조)[1-3]. 사잇층인, 절연층의 두께가 증가할수록 IEC 크기의 비주기적인 감쇠가 관찰되었다[4]. Z. Y. Liu 그룹은, 수직자기이방성 [Pt/Co]<sub>3</sub>/NiO/[Co/Pt]<sub>3</sub> 다층박막 구조에서 NiO 절연층의 두께의 함수로서 진동하는 IEC의 특성을 발표하였다[4]. 이는 새로운 실험결과로서 절연층이며 반강자성체 NiO 박막이 수직면으로 고정되어 있는 자기 다층박막에 진동하는 상호교환결합력에 대해 연구한 결과이다. 그들은 절연층의 NiO 간격이 강자성체 (FM) 층의 페르미 준위 EF 보다 높은 U0의 직각 전위 장벽 높이와 거의 비슷하며, 그 상호교환결합은 강자성체와 절연체의 경계면에서 스핀 의존의 영향 때문에 NiO 간격 층으로 전자 파동의 간섭에 의한 것으로 보았다[4].

본 논문에서는, 용이 자화축이 수직면을 가진 [Pt/CoFe]<sub>N</sub>/IrMn의 자기특성에 대하여 층 수 N의 의존성을 조사하였고, glass/Buffer/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(1.0 nm)/Pt(*t<sub>Pt</sub>*)/Co<sub>90</sub>Fe<sub>10</sub>(1.0 nm)/Ir<sub>22</sub>Mn<sub>78</sub>(10 nm) 다층 박막에 금속층Pt 두께의 함수로서 진동하는 상호교환결합 효과를 연구하였다.

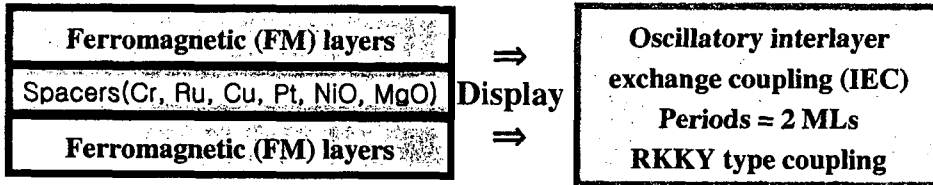


그림-1. 비자성층 간격으로 분리된 두 강자성체층사이의 진동 상호결합의 일반적인 구조

#### II. 실험결과 및 토의

[Buffer layer]/[CoFe(1.0 nm)/Pt(0.8 nm)/CoFe(1.0 nm)]<sub>5</sub> 다층박막의 x선 회절기(x-ray diffraction; XRD) 패턴은 Pt (111)의 피크 값을 우세하였다. 결정체의 Pt(111) 피크 값은 CoFe가 증가하므로 감소하였다. NiO/Pt 층 또는 Pt 층으로 되어있는 버퍼층의 총 두께를 0에서 10 nm까지 변화시켰을 때, NiO(111) 또는 Pt (111)의 피크 값의 세기는 거의 같은 크기로 나타났다. 그 이외의 결정 피크는 보이지 않았다. [NiO(3 nm)/Pt(0.8 nm)]을 버퍼층으로 사용했을 때, 반강자성체 NiO에 의해 CoFe층의 교환 바이어스 효과가 없는 이유를 두 가지로 보았다. 첫째로는, 3 nm의 범위 내에서 얇은 NiO 층에 대하여 교환 바이어스력이 거의 없으며, 뿐만 아니라 인접한 Pt 층으로 인해 실온에서 완전히 소멸하기 때문이다. 그리고 반강자성체(NiO)와 강자성체 (CoFe) 층 사이에서 교환 바이어스는 Pt에 의해 오염된 경계면에서 일어날 수 없기 때문이다.

보자력과 일치한 비정상 홀-전압 크기(EHA)의 곡선은 SMOKE로 측정하여 비교하였다. 둘 다 홀-전압과 Kerr 효과 크기는 매우 일치하며 용이축이 수직면으로 수직 자기이방성을 띠고 있었다. 특히, 반강자성체

IrMn 층이 없는 시료에 대해 실온에서 측정된 EHA곡선은 교환바이어스 효과를 갖는 어떠한 중심이동 자기 이력곡선을 얻을 수 없었다.

상호교환결합력의 크기 ( $H_{IEC}$ )가 진동하는 현상은 얇은 Pt 간격의 맞은편에 두 강자성체 층 사이에서 얻어지는 상호교환결합의 유일한 속성임을 그림-2(a)에서 보여주고 있다. 여기서  $H_{IEC}$ 는 삽입된 그림에서 알 수 있듯이 히스테리시스 곡선의 minor loop에서 두 교환결합력의 사이 값으로 정하였다. 2d 0.4 nm ( $d = 1.96$  nm 는 (111) 면 사이의 거리)의 주기를 가진 Pt 두께에서 주기적인 특성은 각각 Z. Y. Liu 그룹과 Bruno 그룹에서 금속의 간격에 대하여 수평면의 모델과 절연 간격의 순서대로 반강자성체으로 자화한 수직면의 진동 특성 결과와 유사하다[4,6]. 그러므로, Pt 두께에 의존하는 상호교환결합의 진동하는 거동은 반강자성체 IrMn 층을 통하여 순서대로 유도된 반강자성체와 관계가 있다고 생각된다. 그러나, 수평형상 자기이방성의 경우, 이러한 결과는 반강자성체 결합매체에서 얻어진 크기와 전형적인 특징들과 다르다. 이것은 Co/Ru/Co 다층박막에서 실험적으로 나타난 긴 주기  $t_{Ru} = 1.1$  nm 결과로서[5] 결합세기가  $t_{Ru}$ 에 감소하는 Ruderman-Kittel-Kasuya-Yoshida (RKKY)-형 결합[7]에 의해 기인하기 때문이다.

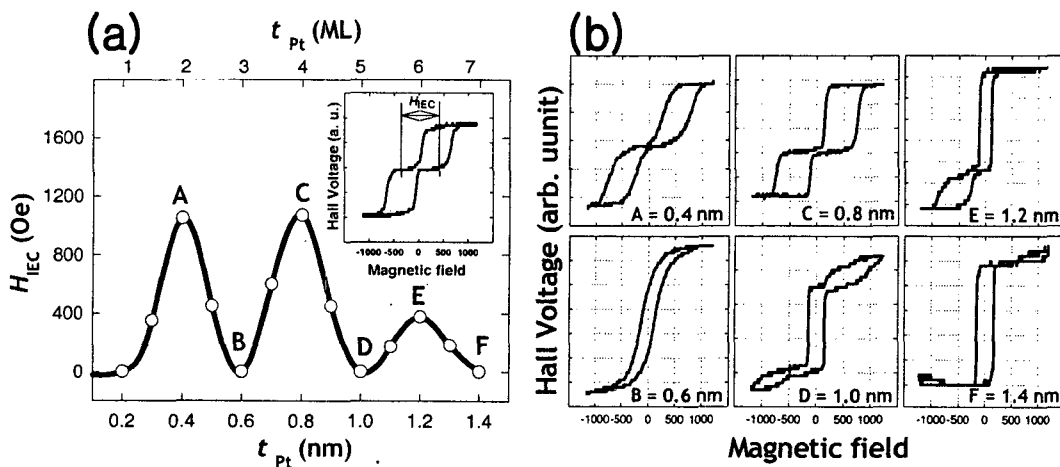


그림-2. 사잇층 Pt의 2개 원자층 간격(0.4 nm)으로 분리된 상호교환결합력의 (a) 주기특성과 (b) EHA곡선들

수직자기이방성을 나타낸 히스테리시스 곡선에 대하여 중요한 자화값과 EHA 곡선은 0.4 nm에서 1.4 nm 까지의 범위에 있는 Pt의 두께와 1.0 nm로 고정되어 있는 CoFe 층을 포함시킨 6개의 [CoFe/Pt/CoFe]/IrMn 다층박막 구조를 Fig. 4에 나타냈다. 그림-2(a)와 마찬가지로 그림-2(b)에서 포화상태의 자기장과 포화상태의 EHA곡선들로부터 Pt 층 두께에 의존성을 상세하게 알 수 있다.  $t_{Pt}$ 의 0.4 nm와 0.8 nm에 대하여, 자화와 비정상 홀-전압 크기의 외부자기장 의존성은  $[Pt/Co]_3/NiO/[Co/Pt]_3$  다층박막 구조와 유사한 외부자기장 의존성을 가지고 있지만,  $H_{IEC}$ 의 크기는  $[Pt/Co]_3/NiO/[Co/Pt]_3$  다층박막 구조보다 1/2정도 작다[4].  $H_{IEC}$ 는 0.4 nm와 0.8 nm에 접근하는  $t_{Pt}$ 와 같이 증가하며, 대략 두 원자층이  $t_{Pt}$ 의 0.4 nm 또는 0.8 nm에 해당하여 약 1 kOe 값을 갖고 있다.  $t_{Pt} = 0.8$  nm에서  $t_{Pt}$ 에 대하여 값이 2분의 1까지 감소하여 1.2 nm일 때  $H_{IEC}$  값의 범위를 넘게 증가하였다.  $t_{Pt} = 0.6$  nm, 1.0 nm, 그리고 1.4 nm의 경우일 때, 비정상 홀-전압 크기의 곡선으로 얻은  $H_{IEC}$ 는 거의 0이다. 그러므로, 이 결과는 Pt 두께의 간격 층을 가진 IrMn을 통해서 유도된 [CoFe/Pt/CoFe] 다층박막 구조시스템에 대하여 나타난 고유한 상호교환결합의 진동하는 의존성이 것으로 여겨진다. 이는 수직자기이방성의 교환바이어스 시스템의 중요한 특징 중 하나의 현상이라고 할 수 있다.

## 참고문헌

- [1] P. Grunberg, *et al.*, Phys. Rev. Lett. 57, 2442 (1986).
- [2] P. Bruno, and Chappert, Phys. Rev. Lett. 67, 1602 (1991).
- [3] M. D. Stiles, Phys. Rev. B 48, 7238 (1993).
- [4] Z. Y. Liu and S. Adenwalla, Phys. Rev. Lett. 91, 37207 (2003).
- [5] D. T. Margulies, *et al.*, Appl. Phys. Lett. 80, 91 (2002).
- [6] S. S. Lee, *et al.*, Phys. stat. sol. (c) 1 (12), 3360-3562 (2004), P. Bruno, Phys. Rev. B 52, 411 (1995).
- [7] S. S. P. Parkin, *et al.*, Phys. Rev. Lett. 64, 2304 (1990).