

**Q-5**

**Ag 층의 두께변화가 CoZr/Ag/CoZr 삼층박막의 교환결합에 미치는 효과**

고려대학교      박윤중\*, 김약연, 임우영  
충남대학교      백종성, 김종오  
청주대학교      이수형

**Effect of Ag-Layer Thickness on the Exchange Coupling of CoZr/Ag/CoZr Trilayer Films**

Korea University      Y. J. Park\*, Y. Y. Kim, and W. Y. Lim  
Chungnam National University      J. S. Baek and C. O. Kim  
Cheongju University      S. H. Lee

**1. 서    론**

최근, 자성층/비자성층/자성층 구조를 갖는 삼층박막 및 다층박막에서 비자성층이 자성층 사이의 층간 상호작용(interlayer coupling)에 미치는 영향에 대해 많은 연구가 진행되고 있다[1-4]. 자성층 사이의 층간 상호작용은 강자성 공명(ferromagnetic resonance ; FMR)[1,2], 표면 자기광 Kerr 효과(surface magneto-optical Kerr effect ; SMOKE)[3], 그리고 자기저항(MR)[4] 측정 등을 사용하여 연구되고 있다. 특히, 강자성 공명신호의 공명자기장과 세기는 강자성층 사이의 교환결합(exchange coupling)에 매우 민감한 특성을 가지므로, 강자성 공명 실험은 강자성층 사이의 교환결합을 고찰하는데 매우 유용하다.

본 연구에서는 직류 및 고주파 마그네트론 방법으로 제조한 CoZr(200 Å)/Ag( $t_{Ag}$ )/CoZr(200 Å) ( $t_{Ag}$  = 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 160 Å) 삼층박막에 대해 강자성 공명실험을 수행하므로써, Ag 층의 두께 변화가 CoZr 층 사이의 교환결합에 미치는 효과를 고찰했다.

**2. 실    험**

본 연구에서는 직류 및 고주파 마그네트론 스파터링 장치를 사용하여 CoZr/Ag/CoZr 삼층박막을 제작하였다. 이때  $Co_{84}Zr_{16}$ (at.%) 층은 직류 마그네트론 스파터링 방법으로 제조했으며, Ag 층의 제조과정에는 고주파 마그네트론 스파터링 방법을 사용했다. CoZr 스파터링 타겟은 직경 100 mm $\phi$ 의 Co-plate위에 5 mm  $\times$  5 mm 크기의 Zr-소편(chip)을 적절히 배치하여 제작한 복합모드형을 사용했다. 박막제작시 배경압력(background pressure)은  $7 \times 10^{-7}$  Torr, 아르곤 압력(working gas pressure)은 10 mTorr 였다. 이때, CoZr 및 Ag 층의 증착율은 각각 50 Å/min 및 35 Å/min이었다.

한편, 시료의 유효자화, 자기회전비, 그리고 층간결합상수(interfacial coupling constant) 등과 같은 물리상수를 고찰하기 위하여 다음과 같이 강자성공명 실험을 수행했다. 즉, 직경이 3 mm $\phi$ 인 디스크형 시료를 석영봉에 부착하여, 마이크로파와 정자기장이 서로 직교하는 공동(TE<sub>011</sub>)내에 위치시킨 채, 0~15,000 Oe의 정자기장 영역에서 미분형 공명신호를 관측했다. 이와 같은 방법으로 정자기장의 방향을 시료면에 대해 수직 및 수평 하게 유지시켜 주면서 실험을 반복했다.

**3. 결과 및 논의**

자성층(A-층)/비자성층/자성층(B-층) 구조를 갖는 삼층박막에서 자성층 사이의 층간결합상수(interfacial coupling constant)  $K$ 와 결합세기(coupling strength)  $K'$ 은 다음과 같은 관계를 만족한다[1,2]

$$K' = K \sqrt{\frac{M_{effA} M_{effB}}{t_A t_B}} \tag{1}$$

여기서,  $M_{effA}$  및  $M_{effB}$ 는 각각 A-층과 B-층의 유효자화로서 단층막의 강자성공명실험에서 구해진다. 그리고  $t_A$  및  $t_B$ 는 A-층과 B-층의 두께이다.  $K'$ 이 양수이면 자성층 사이의 상호작용은 강자성 결합(ferromagnetic coupling)이고, 음수이면 반강자성 결합(antiferromagnetic coupling)을 의미한다. 이때,  $K$ 는 삼층박막의 강자성공명실험결과로부터 구해진다.

Fig. 1에 박막면에 수직인 방향으로 정자기장을 인가하면서 고찰한 강자성 공명실험 결과를 나타냈다. 여기서 보면 Ag 층의 두께가 작은 경우 두 신호가 명확히 구분되고, Ag 층의 두께가 증가함에 따라 공명자기장 사이의 간격이 점차 감소하는 모습을 볼 수 있다. 여기서 구한 공명 자기장을 이론식에 적용하여 구한 층간 결합세기  $K'$ 을 Fig. 2에 나타냈다. Fig. 2를 보면, 모든 시료에 대해  $K'$ 이 양수인 특성을 보이므로, 본 실험에 사용한 CoZr/Ag/CoZr 삼층박막의 경우 CoZr층 사이의 상호작용은 강자성 결합임을 알 수 있다. Ag 층의 두께가 증가함에 따라  $K'$ 은 증가하여 Ag 층의 두께가 20 Å일 때, 최댓값 2.0 kOe을 보인다. 그리고, Ag 층의 두께가 40~100 Å인 영역에서는 그 값이 급격히 감소하며, 120 Å 이상 증가하면 층간 상호작용이 0으로 수렴하는 모습을 보인다.

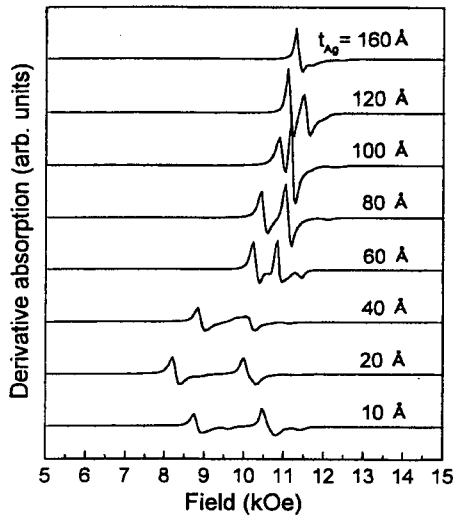


Fig. 1 FMR spectra of CoZr(200 Å)/Ag( $t_{Ag}$ )/CoZr(200 Å) trilayer films at perpendicular configuration.

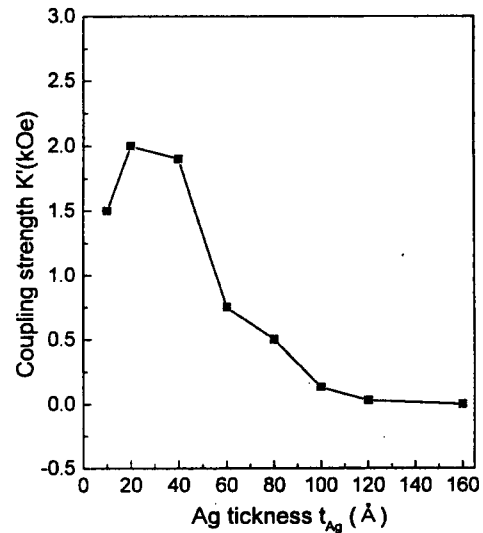


Fig. 2 Coupling strength  $K'$  as a function of Ag thickness  $t_{Ag}$  for CoZr(200 Å)/Ag( $t_{Ag}$ )/CoZr(200 Å) trilayer films.

#### 4. 참고문헌

- [1] A. Layadi and J. O. Artman, J. Mag. Mag. Mag. **92**, 143(1990).
- [2] A. Layadi and J. O. Artman, Appl. Phys. **30**, 3312(1997).
- [3] M. T. Johnson, S. T. Purcell, N. W. E. McGee, R. Coehoorn, J. aan de Stegge, and W. Hoving, Phys. Rev. Lett. **68**, 2688(1992).
- [4] F. Petroff, A. Barthélemy, D. H. Mosca, D. K. Lottis, A. Fert, P. A. Schroder, W. P. Pratt, R. Loloee, and S. Lequien, Phys. Rev. B **44**, 5355(1991).