

**Q-12**

**Permalloy/Co 스핀밸브구조의 평면 홀 효과 측정**

고려대학교 염민수\*, 장인우, 변상진, 홍태권, 이진서, 이금원

**Planar Hall Effect in Permalloy/Co Spin valve**

Korea Univ. M.S.Youm\*, I.W.Jang, S.J.Byeon, T.K.Hong, J.S.Lee, K.Rhie

1. 서론

4° tilt-cut Si(111)기판위에 스퍼터된 Permalloy/Co 스핀밸브구조의 자화특성을 알아보기 위해 자기저항과 평면 홀 효과를 측정하였다. 홀 효과의 측정에 있어서 측정되는 전압신호는

$$V_H = R_0 \frac{I}{d} B \cos \alpha + R_s \frac{I}{d} M \cos \theta + \frac{kI}{d} M^2 \sin^2 \theta \sin 2\xi_M$$

로 나타난다. 첫 번째 항은 Lorentz 힘 (첫째 항), 수직자화에 의한 비정상 홀 효과 (둘째 항), 그리고 AMR (Anisotropic Magnetoresistance)의 전류에 대한 수직 방향의 텐서 성분 (셋째 항), 즉 "Planar Hall effect" 혹은 "Pseudo-Hall effect" [1]로 나눌 수 있다.  $\alpha$  와  $\theta$  는  $\vec{B}$  와  $\vec{M}$  벡터가 시료의 수직 축과 이루는 각도이며 세 번째 항의  $\xi_M$  은 전류와 면내 자화벡터가 이루는 각이다. 실제 실험에서 외부에서 인가되는 자기장이 전류와 이루는 각도는  $\xi_H$  이다. 본 실험에서는 홀 효과를 이용하여 Si(111, 4° tilt-cut)기판 위에서 형성되는 자기이방성의 방향을 측정하여 본다.

2. 실험방법

시료의 구조는 NiFe(60 Å)/Co(5 Å)/Cu(60 Å)/Co(30 Å)/Cu(50 Å)/Si(111, 4° tilt-cut)이다. Si(111, 4° tilt-cut) 기판과 Cu바닥층은 스핀밸브 박막 내의 우선배향성을 통한 일축자기이방성의 유도에 효과적이다[2]. 우선 자기저항과 평면 홀 효과의 측정을 위해 시료를 그림. 1과 같이 예칭하였다. Lock-in Amplifier를 이용하여 4단자법으로 전압을 측정하였다. 외부자기장은 -600 Oe ~ 600 Oe까지 걸어주었다. 자기장( $\vec{H}$ )과 시료에 흐르는 전류의 방향, 시료의 자화용이축과의 관계는 그림. 1에 나타나 있다. 전류는 자화용이축과 평행하게 흐르며, 외부자기장의 방향을 변화하면서 자기저항과 평면 홀 효과를 측정하였다.

3. 실험결과

우선 시료의 자기저항을 측정하였으며, 측정된 결과는 Fig. 2에 나타나 있다. 굵은 실선으로 나타나 있는 것은 전류, 자화용이축, 자기장의 방향이 모두 평행한 경우( $\xi_H = 0^\circ$ )로써 약 1.8%의 자기저항비를 나타냈다. 가는 실선으로 나타낸 것은 자기장이 자화용이축에 수직인 방향( $\xi_H = 90^\circ$ )으로 걸린 경우로 이 때의 자기저항비는 약 2%정도로 앞의 경우보다 약간 크게 나타났다.

시료의 자화용이축방향과 자기장의 방향이 서로 일치하지 않는 경우 평면 홀 효과의 신호는 시료의 자화 반전이 지속되어 자화가 완전히 자기장방향으로 향할 때까지 점진적으로 자화벡터가 회전을 하게 된다. 이 때 평면 홀 효과의 신호는 위 식의 세 번째 항에 따라 자화벡터의 회전을 반영하여 신호값이 변

화한다. 그러나 시료의 자화용이축(Co의 자화용이축)에 자기장이 작용하였을 경우 포화상태에 이른 후 자화벡터의 변화가 없으므로 홀 전압의 크기는 변화하지 않는다.

평면 홀 효과를 각도별로 측정된 결과 Fig. 3.에서와 같이  $\xi_H = 329^\circ$  에서 면내 자화벡터값이 가장 크게 나타났다. 이는 시료의 실제 자화벡터가 이전의 자화용이축이라 추정되었던 방향에서 반시계방향으

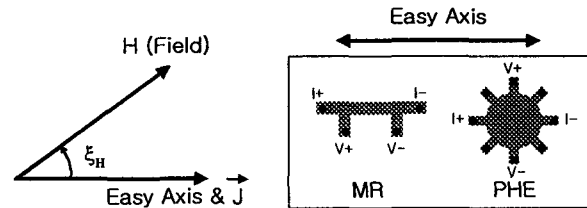


Fig. 1. Patterned Permalloy/Co spin valve, and the angle  $\xi_H$  defined from the direction of net current to that of applied field

로  $30^\circ$  정도 틀어져있는 것이다. 또한  $\xi_H = 0^\circ$  에서 측정된 평면 홀 효과 현상은 Permalloy 층과 Co 층이  $\pm 180$  Oe정도에서 자화벡터방향으로 향한 다음 두 자성층이 자기장의 방향으로 점진적으로 이동하는 현상으로 보여진다.

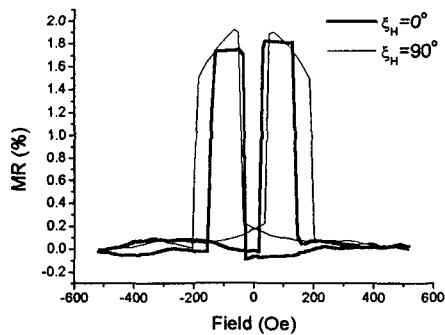


Fig. 2. MR diagram of Sample

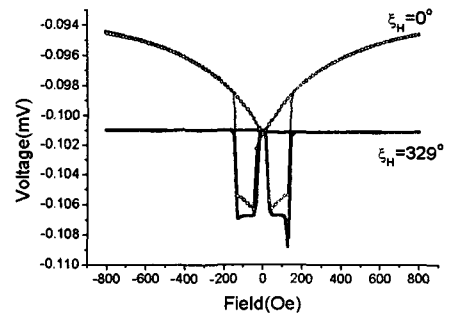


Fig. 3. Planar Hall Effect

#### 4. 결론

VSM이나 자기저항의 측정으로는 다층박막의 자화벡터 방향을 정확하게 측정 할 수 없었지만, 평면 홀 효과를 이용하여 스핀밸브박막의 실제 자화벡터 방향을 정확히 측정 할 수 있었다.

#### 5. 참고문헌

- [1] J. P. Jan, Solid state Physics, F. Seitz and D. Turnbull Eds. New York ; Academic Press, 5, pp.1-96 (1957)
- [2] H-J Kim, K-K Cho and S-K Joo, Journal of The Korean Magnetics society, Vol 9, Num 6, 301-305 (1999)