

퍼멀로이/Cu/Co 삼층막의 자화벡터와 평면 홀 효과

고려대학교 박병기*, 이제형, 이궁원
서울대학교 김형준, 주승기

Magnetization Vectors and Planar Hall Effect of a Permalloy/Cu/Co Trilayer

Korea University
Seoul National University

B. K. Park*, J. H. Lee, K. Rhie
H. J. Kim, S. K. Joo

1. 서론

본 연구에서는 (NiFe/Cu/Co) 삼층막에 대해서 이 시료에 걸어준 자기장과 전류의 방향 사이의 각도에 따라 변화하는 자화의 거동을 분석하여, MR 과 Planar Hall을 측정한 후 VSM을 통해서 얻은 자화 곡선과 비교하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 고주파 마그네트론 스퍼터링 방법으로 4도 기울어진 Si(111)기판위에 Cu(50Å)을 증착하고, NiFe(60Å)/Cu(60Å)/Co(30Å) 삼층막을 쌓은 시료를, 자체 제작된 측정 장치에 장착하여, 자기장을 $\pm 1000 Oe$ 까지 변화시키며 자기저항과 planar Hall effect (평면 홀 효과)를 측정하였다. 두 물리량의 각도 의존성을 알아보기 위해서 step moter를 이용하였고, 모든 장치의 조절과 데이터 획득은 컴퓨터 인터페이스를 이용하였다.

3. 이론적 고찰

AMR 효과에 기인하는 Planar Hall 효과는 자발 자화의 방향과 가해진 외부 자기장의 크기에 의존하는데, 평면 홀 효과의 이론적 표현식은 다음과 같다.

$$E_y = [(\rho_{\parallel} - \rho_{\perp})\alpha_x\alpha_y + \rho_{\parallel}\alpha_z]J_x$$

$$= \left[\frac{1}{2}(\rho_{\parallel} - \rho_{\perp}) \sin^2\theta \sin 2\xi_M + \rho_{\parallel} \cos\theta \right]J_x$$

위 식에서 $\xi_M = 45^\circ$, 즉 전류방향과 자화 벡터의 방향이 45° 에서 평면 홀 효과가 최대 또는 최소값을 갖는다. MR 측정과 Planar Hall 측의 기하학적 구조는 Fig2 와 같다.

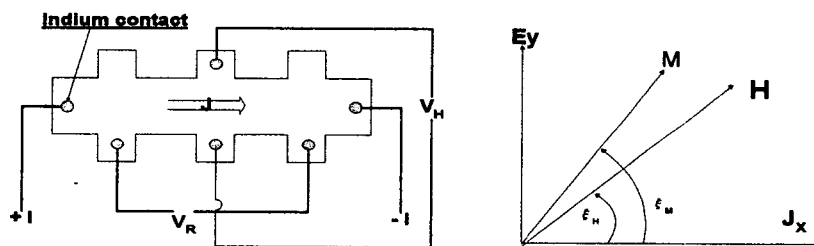


Fig. 1. Geometry for MR and Planar Hall effect measurement.

4. 실험 결과 및 검토

[PM(60Å)/Co(2Å)/Cu(60Å)Co(30Å)]CU(50Å)/Si(111, 4° tilt-cut) 삼층막 시료를 세 부분으로 나누

어 자화용이축이 전류 방향에 대해 평행, 수직, 및 45° 가 되도록 예칭 하였다. 이들 시료의 길이 방향으로 전류를 흘리고 전류의 방향에 대해 자기장을 ξ_H 방향으로 가하며 MR과 평면 홀 효과를 측정하였다. Fig. 2의 (a)와 (b)는 자화용이축과 전류 방향이 평행 할 때와 45° 일 때, 즉 시료의 길이 방향을 자화용이축에 대해 평행, 또는 45° 가 되게 예칭하여 외부자기장을 시료의 자화용이축 방향으로 가해주며 MR과 평면 홀 효과를 측정한 것이다.

MR의 결과를 보면 전체적인 MR의 모양은 변화가 없다. 약 25 Oe 정도의 자기장에 퍼멀로이 층의 자화가 반전하였으며, 약 100 Oe 정도의 자기장에 Co 층의 반전이 나타났다. 퍼멀로이의 자화 반전은 매우 작은 자기장영역에서 진행된 반면 Co 층의 반전은 더디게 진행됨을 알 수 있다.

평면 홀 효과의 경우 동일한 MR 곡선에 대해 각기 다른 형태로 나타나게되는데 이는 MR이 두 자성층이 이루는 사이 각에 의존하게 되지만 평면 홀 효과는 각 자성층과 전류 방향이 이루는 사이 각에 의존하게된다. Fig. 2(a)의 경우 Co 층의 반전에 해당하는 지점의 평면 홀 효과는 각기 두 개 (+와 -)와 하나의 peak (+)로 이루어져있는데, 그 이유는 $\sin 2\xi_M$ 의존성에서 기인한다. 우선 전류와 자화용이축이 평행한 경우(Fig. 2) 음의 방향으로 포화된 Co 층에 충분한 양의 방향의 자기장이 걸리면 Co층의 자화 벡터는 회전하여 양의 방향으로 향하게되면서 $\xi_M = 180^\circ - 135^\circ - 90^\circ - 45^\circ - 0^\circ$ 의 순으로 나타나게되며 이때 $\sin 2\xi_M$ 값은 각각 0, -1.0, +1.0의 순으로 평면 홀 효과의 크기를 나타내게 된다. 퍼멀로이 층의 반전에서는 오직 하나의 층만 나타나게 되는데, 이는 측정과정에서 인가한 자기장의 간격을 충분히 좁게 하지 않아 놓친 것으로 본다. 반면 인가한 자기장의 방향이 전류에 대해 135° 인 경우(Fig. 2(b)) $\xi_M = -45^\circ - 90^\circ - 135^\circ - 180^\circ - 135^\circ$ 순으로 주어지며 이에 따른 $\sin 2\xi_M$ 값은 -1.0, +1.0, -1이 되어 오직 하나의 peak만이 나타나게 된다. Fig. 2 (a)에서 초기에 작은 peak이 보이는데 이는 Co 층의 자화용이축과 예칭된 전류방향이 약간의 각도를 갖고 있음을 보여준다. 이는 또한 평면 홀 효과가 이 경우 나타나게되는 이유이기도 한데 만일 Co층의 자화용이축이 전류방향과 완벽히 평행하다면 시계방향으로 회전하는 자화벡터와 반시계방향으로 회전하는 자화벡터의 크기가 같아 서로 상쇄하게되기 때문이다.

이처럼 평면 홀 효과를 이용하여 MR의 측정 경우보다 다층박막의 각 자화벡터의 방향을 정밀하게 가늠 할 수 있었으며, 또한 전류의 방향에 대해 한 개의 자화층이 이루는 각도를 엄밀하게 분석 해 낼 수있었다.

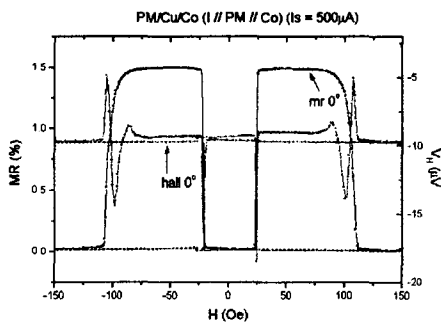


그림 2 (a): H//J//자화용이축 경우의 MR과 평면 홀 효과

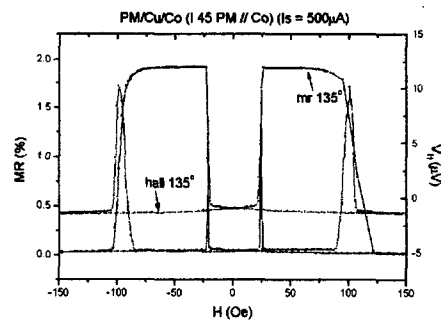


그림 2 (b) H 135° J 45° 자화용이축 경우의 MR과 평면 홀 효과