

B11

Ni₅₃-Fe₄₇ 자성박막의 신형전류자기 기전력효과*

숙명여대 정한, 손희영, 최규리, 최수정, 김미양*, 장현숙, 이장로
전북대 이용호

Galvanomagnetic electromotive force effect of Magnetic Ni₅₃-Fe₄₇ Thin Films

Sookmyung Women's University H. Jung, H. Y. Son, K. L. Choi, S. J. Choi,
M. Y. Kim*, H. S. Jang, J. R. Rhee
Jeonbuk National University Y. H. Lee

I. 서론

전류자기효과의 종류에 Hall 효과와 자기저항효과(MR)가 있는 것은 잘 알려져 있다. 자기저항효과는 종래의 인덕티브 헤드에서 자기저항 헤드로의 응용가능성이 실용화 됨으로써 근래 많은 연구가 이루어지고 있다. [1, 2] 보다 커다란 자기저항비를 갖는 재료로서 금속 인공격자의 제작 및 연구가 각광을 받고 있으나 자기저항효과 그 자체의 기구에는 아직 충분한 연구가 되어 있지 않고 현상론에 의존해 있는 것이 현재의 상황이다.

여기에서 소개하는 제 3의 전류자기효과 즉 신형전류자기 기전력효과는 자장과 전류가 만드는 평면내에서 전류의 방향과 직각방향으로의 전압이 자장의 크기 및 방향에 의존하는 현상으로 자기저항효과와 매우 유사한 효과이다. 이 효과는 이전부터 현상적으로는 확인되어 있지만 평면 Hall 효과의 일종으로 알려져 있을뿐 그 기구에 대해서는 보고되지 않고 있다.

얼마전 Yokohama 대학의 K. Kakuno 등은 스트립 형태의 Ni₉₀-Fe₁₀ 합금박막에 관하여 신형전류자기 기전력효과의 크기와 자장 방향의존성을 측정하고, 이와 유사한 자기저항 효과에서는 전압이, 전류에 대한 자장 방향이 만드는 각 θ 에 대하여 $\cos \theta$ 로 변화하고 Hall 효과에서는 $\sin \theta$ 에 따라 변화하지만, 신형전류자기 기전력효과에서는 전압의 자장방향 의존성이 $\sin 2\theta$ 이고 이 효과의 자장에 의존하는 전압 변화의 변화율이 종래의 자기저항효과에 비해 차수가 다르게 큰 것을 보고하였다. [3]

본 연구에서는 열저항 진공 증착 방법으로 Ni₅₃-Fe₄₇ 박막을 strip 형태로 제작하고 신형전류자기 기전력의 크기와 이것의 전류의 크기, 시료폭 및 두께 의존성과 자장방향 의존성을 측정하고 종래의 자기저항 효과와 비교해 본다.

II. 실험 방법

시료는 자성합금 Ni₅₃-Fe₄₇을 유리를 기판으로 하여 열저항가열식 진공 증착방법으로 제작한 두께 1000 Å 정도의 Ni₅₃-Fe₄₇ 박막이다. 신형전류자기 기전력효과는 길이 방향으로 단자 1과 단자 2 사이에 전류가 흐르고 있는 면내에 직류자장을 가하고 시료를 자장내에서 회전시켜 즉 전류의 방향과 자장 방향이 만드는 각 θ 를 변화시켰을 때 횡방향의 단자 사이의 전압 강하 V_x 를 측정하게 된다. 전압 V_x 의 관측방향이 자기저항 효과와 Hall 효과의 경우와 전혀 다를 수 있다. 종래의 자기저항 효과의 전압강하 V_x 는 길이방향의 단자 사이에서 동시에 측정한다. 이때 자장 변화에 따른 V_x 와 V_H 측정은 자체 제작한 Wheat-Stone's bridge를 사용하였고 X-Y 기록계에 자동으로 기록된다.

또 신형전류자기 기전력효과의 시료형상 의존성을 조사하기 위하여, 시료에 흐르는 전류, 전류가 흐르는 부분의 폭, 시료의 두께를 변화시켜 가면서 신형전류자기 기전력효과를 측정한다.

III. 고찰

X 방향으로 전류밀도 J 의 전류가 흐르고 있는 자성박막 시료에서 자속밀도 $B(B_x, B_y, B_z)$ 의 자장

이 XY 평면내에 있을때 carrier의 충돌에 의한 완화시간을 τ 라 할때 carrier 들의 정상상태 (steady state)의 유동속도에 관한 방정식은 2 carrier 형 모델[4]에 의하면

$$v_1 = \mu_1(E + v_1 \times B)$$

$$v_2 = \mu_2(E + v_2 \times B)$$

로 표시할 수 있고, 여기에서 v , μ , E , B 는 각각 시료의 정상상태의 유동속도, 이동도 (mobility), 전장 및 자장이고 하첨자는 2 종류의 carrier 를 구별하기 위한 것이다. 그러면,

$$v_{1x} = \mu_1 \frac{(1 + \mu_1^2 B_x^2) E_x + \mu_1^2 B_x B_y E_y - \mu_1 B_y E_z}{1 + \mu_1^2 B^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$v_{1y} = \mu_1 \frac{\mu_1^2 B_x B_y E_x + (1 + \mu_1^2 B_y^2) E_y + \mu_1 B_x E_z}{1 + \mu_1^2 B^2} \dots \dots \dots (2)$$

$$v_{1z} = \mu_1 \frac{E_z + \mu_1 (B_y E_x - B_x E_y)}{1 + \mu_1^2 B^2} \dots \dots \dots (3)$$

로 쓸 수 있고, $B^2 = B_x^2 + B_y^2$ 이고 $k = 1, 2$ 이다. 이 방정식과 관계식 $J = n_1 q_1 v_1 + n_2 q_2 v_2$ 을 써서 총 전류밀도 J 를 계산할 수 있다. n 과 q 는 carrier 밀도와 전하이다. 전류가 X 방향으로 흐른다고 하면 $J_x = j$, $J_y = 0$, $J_z = 0$ 이므로 X, Y, Z 방향의 전장을 구하면

$$E_x = \frac{j[2\{(\sigma_1 + \sigma_2)^2 + (\sigma_1 \mu_1 + \sigma_2 \mu_2)^2 B^2\} + \sigma_1 \sigma_2 (\mu_1 - \mu_2)^2 B^2 (1 - \cos 2\theta)]}{2(\sigma_1 + \sigma_2)\{(\sigma_1 + \sigma_2)^2 + (\sigma_1 \mu_1 + \sigma_2 \mu_2)^2 B^2\}} \dots \dots \dots (4)$$

$$E_y = - \frac{j \sigma_1 \sigma_2 (\mu_1 - \mu_2)^2 B^2 \sin 2\theta}{2(\sigma_1 + \sigma_2)\{(\sigma_1 + \sigma_2)^2 + (\sigma_1 \mu_1 + \sigma_2 \mu_2)^2 B^2\}} \dots \dots \dots (5)$$

$$E_z = \frac{j(\sigma_1 \mu_1 (1 + \mu_2^2 B^2) + \sigma_2 \mu_2 (1 + \mu_1^2 B^2)) B \sin \theta}{(\sigma_1 + \sigma_2)^2 + (\sigma_1 \mu_1 + \sigma_2 \mu_2)^2 B^2} \dots \dots \dots (6)$$

이 된다. 여기에서 $\sigma = n q \mu$ 이고 $\mu = q\tau/m^*$ 이며 m^* 는 carrier 의 유효질량(effective mass)이다.

따라서 대응하는 전장과 전류밀도 사이의 관계를 나타내는 위의 결과에 의하여 X 방향(자기저항 효과), Y 방향(신형전류자기 기전력효과), Z 방향(Hall 효과)의 각도 의존성이 각각 $\cos 2\theta$, $\sin 2\theta$, $\sin \theta$ 라고 하는 현상을 확인 할 수 있게 한다.

IV. 결론

- 열저항 가열식 진공증착방법으로 제작한 Ni₅₃-Fe₄₇ 박막에 관하여
- (1) 신형전류자기 기전력효과의 경우, 전류와 자장방향이 만드는 각 θ 의존성이 자기저항 효과의 $\cos 2\theta$, Hall 효과의 경우 $\sin \theta$ 인 반면에, $\sin 2\theta$ 로 관측 되었다.
 - (2) 신형전류자기 기전력효과는 일정한 전류밀도와 정자장(static magnetic field)의 조건에서는 시료 두께에 반비례한다.
 - (3) 신형전류자기 기전력효과는 자장의 세기에 의존하는 전압 변화율이 자기저항효과의 경우에 비교하여 차수가 다르게 크다.
 - (4) 신형전류자기 기전력효과는 종래의 자기저항 효과와 더불어 2-carrier 형 모델에 기초하여 잘 설명 될 수 있음을 확인하였다.

V. 참고 문헌

[1] B. Diery, V.S. Speriosu and S.S.P. Parkin, phys. Rev., B43, 1297(1991).
 [2] A. Chaiken, P. Lubitz, G.A. Prinz and M. Harford, Appl. phys. Lett., 59(2), 8(1991).
 [3] K. Kakuno, Jap. J. Appl. phys., 30(11A), 2761(1991).
 [4] C. Kittel, Quantum Theory of Solids, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1967, p.241, 242.