

Co/Cu 다층박막의 자기저항 효과에 관한 연구

숙명여대 : 김미양*, 최수정, 최규리, 송은영, 이용호, 이장로
 상지대 : 황도근, 이상석
 단국대 : 이기압, 박창만

A study on the magnetoresistance of Co/Cu multilayers

Sookmyung Women's Univ. M.Y.Kim*, K.L.Choi, S.J.Choi, E.Y.Song, and J.R.Rhee
 Sangji Univ. D.G.Hwang, S.S.Lee
 Dankook Univ. K.A.Lee, C.M.Park

1. 서론

Fe/Cr 다층박막의 거대자기저항 효과[1]가 발견된 이래 최근 몇년 동안 다양한 자성 다층박막에서 거대자기저항과 진동 교환결합이 발견되어 자기기록과 센서에 대한 응용적인 면과 이론적 해석에 대해 관심이 집중되어 왔다.[2,3] 특히, 스퍼터링 방식에 의한 Co/Cu 다층박막은 상온에서 커다란 자기저항값이 나타나고 진동 교환결합이 뚜렷하게 나타난다고 보고되어 있다.[4] 본 연구에서는 스퍼터링 방식에 의하여 제작된 Co/Cu 다층박막에서 비퍼층 효과, 제작 조건 및 열처리 조건에 따르는 구조, 자기적 특성 및 자기 저항 변화를 분석하여 거대자기저항비의 크기를 결정하는 요인들을 규명하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 Fe(99.99%), Co(99.99%), Cu(99.99%)를 target으로 하여 dc magnetron sputtering 방법으로 Co/Cu 다층박막을 만들었다. 기판은 Corning glass를 사용하였으며 증착률은 small angle X-선 회절에 의해 결정되는 층의 두께에 의해 Calibrating하였다. 자기저항 측정용 시료는 얇은 늑쇠판 mask를 사용하여 만들었다. 시료의 구조는 high angle X-선 회절측정을 함으로써 분석하였고 Cu K α 복사선을 이용하였다. 외부 자기장에 따른 자기저항 곡선을 구하기 위하여 상온에서 four-terminal 방식으로 -1000~1000 Oe 범위의 자기장을 인가하며 측정하였다. 시료의 자기적 특성은 VSM을 이용하여 상온에서 자화-자기장 이력곡선(M-H hysteresis curve)을 얻어 분석하였다. 또한 표면구조 분석을 위하여 AFM(Atomic Force Microscope)을 이용하였다. 한편, 다층박막 제작시 Base pressure에 따른 자기저항비의 변화를 조사하기 위하여 Base pressure가 다른 상태에서 박막을 제조하였고, 비자성층인 Cu spacer 두께를 달리하면서 Co/Cu 다층박막을 제작하여 진동형 자기저항을 관찰하였으며, glass 기판 위에 Fe와 Cu의 각각의 두께를 달리하면서 비퍼층을 쌓은 다음 그 위에 Co/Cu 다층박막을 만들어 비퍼층 효과를 관찰하였다. 또한 Fe, Co, Cu의 증착률을 각각 달리하면서 Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]_N 다층박막을 제작하여 다층박막의 각 층의 증착률에 따른 자기저항비를 살펴보았으며 다층박막의 stacking number(층수)에 따른 자기저항비를 관찰하기 위하여 층수를 달리하면서 제작하였다. 이와같이 제작한 시편에 대하여 구조 및 자기적 성질, 자기저항에 관한 열처리 효과를 연구하기 위하여 5×10^{-6} Torr의 진공도를 유지한 상태에서 시편을 500°C 이하의 온도에서 온도를 변화시키면서 각각의 온도에서 2시간씩 열처리하였다. 각 시편에 대하여 낮은 온도에서 먼저 열처리하여 상온까지 서냉하여 X-선 회절분석, VSM 측정, 자기저항 측정 등을 행한 후 보다 높은 온도에서 다시 열처리하여 특성변화를 분석하는 방법을 취하여 열처리 온도에 따른 거동을 살펴보았다.

3. 실험결과 및 고찰

50Å 두께의 Fe 비퍼층을 입힌 다층박막에 대한 자기저항비의 base pressure 의존성을 조사한 결과

Co/Cu 다층박막의 자기저항비는 base pressure가 7×10^{-6} Torr 부근에서 포화됨을 알 수 있었다. 이로부터 증착 중 Co/Cu의 산화를 억제하는 것이 큰 자기저항비를 얻을 수 있는 중요한 조건이 된다는 것을 알 수 있었다. 또한 50Å의 Fe 버퍼층을 갖는 다층박막에 대해서 구리 두께의 함수로서 자기저항비의 변화를 관찰한 결과 비자성체인 Cu spacer의 두께 변화에 따라 자기저항비가 진동하는 것을 알 수 있었으며 2nd, 3rd magnetoresistance peak는 각각 $t_{Cu} = 24\text{Å}$, $t_{Cu} = 36\text{Å}$ 일 때이고 약 12Å의 주기를 갖는 것을 알 수 있었다. 이 때 2nd peak에서의 최대 자기저항비는 상온에서 $MR_0 = 20\%$ 를 나타내었다. 구조분석을 위한 high angle X-선 회절 측정결과 이들 시료들이 모두 (111) 구조를 가지는 다결정임을 보여주었다. (111) 피크 왼쪽에 (100) 위성 회절선도 관측되었다. 이러한 위성 회절선은 Co-Cu와 같이 격자상수의 차이가 크지 않은 재료를 다층박막 구조로 제조하였을 때 나타나는 현상이다. $t_{Cu} = 24\text{Å}$ 의 시료를 열처리한 결과 열처리 온도가 증가함에 따라 자기저항비는 점점 증가하며 300°C의 경우에 극대값 14%를 보이다가 점점 감소하여 500°C에서는 급격히 감소하여 2% 정도를 나타냈다. 이것은 MBE로 제작한 시편의 경우와는 달리 스퍼터링 방식으로 제작한 Co/Cu 다층박막의 열적 안정성을 기대하는 결과이다. 열처리한 시료($t_{Cu} = 24\text{Å}$)에 대해서 VSM을 통하여 자기이력곡선을 관측한 결과 적당한 온도에서의 열처리는 작은 잔류자화를 나타내어 즉 반강자성으로 결합한 막의 부분이 증가함으로써 자기저항이 증가함을 알 수 있었다. 이러한 경향은 본 실험에서 제작된 시료전반에 대하여 관찰할 수 있었다.

4. 결 론

스터퍼링 방식에 의하여 제작된 Co/Cu 다층박막에서 버퍼층 효과, 제작 조건 및 열처리 조건에 따른 구조, 자기적 특성 및 자기저항 특성변화를 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① Co/Cu 다층박막의 산화에 대한 영향을 연구한 결과 자기저항비는 산화를 억제함으로써 향상되었다. Co/Cu의 산화, 특히 Co와 Cu 사이의 계면의 산화는 반강자성 결합을 약화시켜 자기저항 변화를 감소시킨다. 결국 낮은 base pressure 중에서의 막의 증착과 Fe 버퍼층은 산화를 막는 데 효율적이라는 것을 알 수 있었다.
- ② 진동적 자기저항이, 비자성체인 Cu 두께의 주기가 12Å이고 50Å 두께의 Fe 버퍼층을 갖는 Corning glass 위에 스퍼터링 방식으로 성장된 Co/Cu 다층박막에서 관찰되었다. 적당한 온도에서의 시료에 대한 열처리는 다층박막의 주기성을 유지한 채 더 큰 grain size를 갖게 한다. 2nd 자기저항 peak 근처의 Cu 두께를 갖는 시료들은 열처리후 반강자성적으로 결합한 막의 부분이 증가함으로써 자기저항비가 증가하다가 500°C에서 열처리하면 계면확산에 의해 자기저항비가 감소하였다. 이는 계면 스프린의존 산란 강도의 저하가 그 주된 원인으로 생각된다.
- ③ Fe 버퍼층 두께에 따른 자기저항비 의존성을 조사한 결과 약 50Å 두께 정도의 적절한 버퍼층의 두께가 요구된다는 것을 알 수 있었다.
- ④ Fe, Co, Cu 각각의 증착률에 대한 자기저항비 의존성을 연구한 결과 Fe는 1Å/sec 이상의 증착률이 요구되었고 Cu는 2.8Å/sec 정도의 적절한 증착률이 요구되었으며 Co는 증착률이 높은 경우에 자기저항비가 높아지는 경향을 나타냈다. 이는 AFM 측정결과 Co의 특성상 Co 증착률이 높은 경우에 평탄한 자성층 자구형성을 이루어 자기저항비가 증가하는 것으로 생각한다.

5. 참고문헌

- ① M.N Baibich, J.M. Broto, A. Fert, F. Nguyen van Dau, F. Petroff, P.E. Etienne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, Phys. Rev. Lett., **61**, 2472 (1988).
- ② S. S. P. Parkin, R. Bhadra, and K. P. Roche, Phys. Rev. Lett., **66**, 2152 (1991).
- ③ S. S. P. Parkin, Z. G. Li and D. J. Smith, Appl. Phys. Lett., **58**, 2710 (1991).
- ④ D.H. Mosca, F. Petroff, A. Fert, P.A. Schroeder, W.P.Pratt Jr. and R. Laloee, J. Magn. Magn. Mater., **94**, L1 (1991).