

## GMR 다층박막에서 표면 에칭에 따른 자기저항변화 효과

### Effect of Surface etching on Magnetoresistance of GMR Multilayer

이태효, 이영우, 윤상민, 김철기, 김종오  
T.H. Lee, Y.W. Lee, S.M. Yoon, C.G. Kim, C.O. Kim  
충남대학교 재료공학과

#### Abstract

Magnetoresistance (MR) of mumetal/Co/Co/Co multilayer is measured as a function of surface etching on the top Co layer by ion beam etching system. As the etching process proceeds, Co thickness and roughness decreases. MR is dominantly affected by Co layer thickness, but surface roughness makes no significant effect on the MR of mumetal/Co/Cu/Co multilayer.

**Key Words** : GMR, surface roughness, ion beam etching, Co thickness

#### 1. 서 론

자기저항 현상은 외부 자기장의 인가에 의해 재료의 전기저항이 변하는 현상으로, 컴퓨터의 하드 디스크 헤드[1-3], 자기기억소자(MRAM)[1,4-6] 및 고감도 자기장 센서 등 여러 분야로의 응용성을 갖고 있다.[1,7-8]

자기저항은 다층박막이나 과립형 박막[9]등의 금속박막에서 주로 발생하며, 거대자기저항(Giant Magnetoresistance : GMR)에 대해 많은 연구가 수행되었다.

거대자기저항 현상은 두 자성층의 두께와 그 사이의 비자성층인 Cu 두께에 따라 자기저항비가 진동하면서 변화한다.[10] 이것은 사ית층인 Cu 두께가 변할 때 exchange coupling의 변화에 의한 것

으로 알려져 있다. 또한 GMR 다층박막에서 표면과 계면의 거칠기에 따른 자기저항비 변화에 관한 연구가 수행되고 있다. [11]

다층박막에서 표면의 거칠기는 기관의 종류, 증착 온도, 기타 여러 가지 변수들에 의해 변할 수 있다.[12,13] 일반적으로 계면 거칠기가 GMR에 미치는 영향에 관해서도 아직 명확한 해석은 없으나 계면 스핀의존산란이 강한 Fe/Cr의 경우에는 계면 거칠기가 증가되면 산란계면의 증가로 GMR비가 증가[14]되나 내부 스핀의존산란이 주요 인자가 되는 NiFe/Cu는 계면 거칠기가 증가되면 계면에서 상자성 상태의 혼합층이 증가하여 GMR 비가 감소되는 것으로 알려져 있다.[15]

본 연구에서는 mumetal(114 Å)/Co(4.4 Å)/Cu(36 Å)/Co(50 Å) 다층박막에서 상부 자성층의 두께에 따른 자기저항 변화를 조사하였다. 또 표면을 ion beam 에칭 장비를 사용하여 상부 Co의 표면을 식각하면서 표면 거칠기 자기저항효과를 측정, 분석하였다.

## 2. 실험 방법

열처리를 통해 SiO<sub>2</sub>를 성장시킨 Si 웨이퍼 기판 위에 RF 마그네트론 스퍼터링 법으로 mumetal (114 Å)/Co(4.4 Å)/Cu(36 Å)/Co(50 Å) 다층 박막을 제작하였다.

모든 박막들은 초기 진공도  $3 \times 10^{-7}$  Torr 이하에서 성장하였고 기판온도는 30 °C로 유지시켰다. 박막을 성장하는 동안 Sr 페라이트 영구자석을 이용하여 100 Oe의 자기장을 인가 하였다. 작업 진공도는 mumetal, Co는  $3 \times 10^{-3}$  Torr에서 스퍼터링하였고 Cu는  $1 \times 10^{-3}$  Torr에서 스퍼터링 하였다. 증착률은 mumetal, Co, Cu 각각 0.77, 1.1, 1.5 Å/s 이었다. 거대자기저항 다층박막의 스퍼터링 조건을 Table 1에 간략하게 나타내었다.

Ion beam 에칭 장비를 사용하여 가속전압 250 V, 빔전류 25 mA에서 3, 5분 동안 에칭 하여 표면 거칠기와 자기저항 변화를 조사하였다. 표면 거칠기는 AFM (Atomic Force Microscopy)를 사용하여  $0.5 \mu\text{m} \times 0.5 \mu\text{m}$ ,  $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ ,  $3 \mu\text{m} \times 3 \mu\text{m}$  스케일에서 각각 조사하였다.

Table 1. Sputtering condition

	mumetal	Co	Cu
Base pressure	$< 3 \times 10^{-7}$ Torr		
Working pressure	$3 \times 10^{-3}$ Torr		$1 \times 10^{-3}$ Torr
Sputtering power	60 W		
S-T distance	45 mm		
Growing temperature	R.T		

자기저항은 4단자법으로 실온에서 측정하였다. 자기장은 박막의 자화 용이축과 수평 방향으로 인가하고 전류는 자기장과 수직하게 인가하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig 1는 ion beam 에칭 장비에서 가속전압,

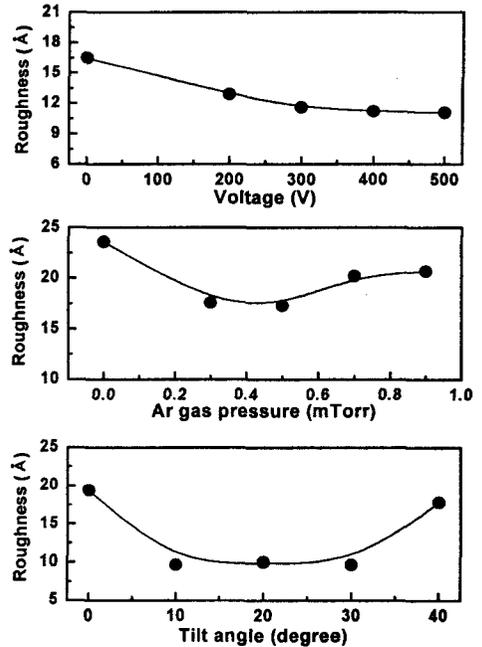


Fig. 1. RMS roughness as a function of voltage, Ar gas pressure and tilt angle.

Ar 가스 압력, 입사 각에 따른 표면 etching 조건을 실험한 것이다. 실험을 통하여 가속전압 250 V, Ar 가스압력  $0.5 \times 10^{-3}$  Torr, 입사각 20° 최적 표면 에칭 조건으로 결정하였다.

Fig 2는 AFM을 이용하여 측정한 에칭 전과 에칭 후의 표면 상태를 보여준다. 에칭 전과 비교하여 에칭 후에 표면 거칠기가 다소 감소했음을 알 수 있다.

Fig 3는 mumetal(114 Å)/Co(4.4 Å)/Cu(36.2 Å)/Co(50 Å) 다층 박막을 기판 온도가 각각 20, 30, 40, 50 °C에서 제작한 시료에 대해 가속전압 250 V, Ar 가스 압력  $0.5 \times 10^{-3}$  Torr, 입사각 23°에서 5분 동안 ion beam 에칭한 전과 후의 거칠기를 나타낸 그림이다. 기판 온도가 증가함에 따라서 RMS roughness가 5.40 Å에서 7.04 Å으로 증가하였다. 에칭 후에는 전과 비교하여 전체적으로 RMS roughness가 1 Å 정도 감소하였다.

Fig. 4은 mumetal(114 Å)/Cu(15 Å)/Co(t Å)에서 상부자성층 Co의 두께에 따른 자기저항비의 변화를 나타낸다. 사잇층 Cu 두께 변화에 따른 변화와 유사하게 Co의 두께가 변하여도 12 Å의 주기로 자기저항 값의 진동이 발생하고 있다.

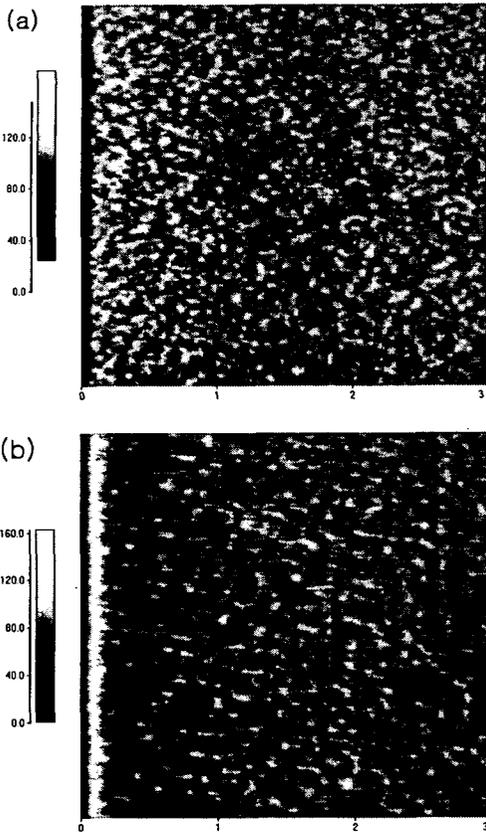


Fig 2. AFM Image of sample surface (a) before etching, (b) after etching.

Fig 5는 mumetal/Co/Cu/Co 다층박막에서 에칭 시간에 따른 자기저항 곡선을 나타낸 것이다. 3분 동안 에칭했을 때 상부 Co 층의 자화 반전 자기장이 증가하면서 자기저항 곡선의 폭이 넓어지고 있다. 이것은 상부 Co층의 두께가 감소하면서 하부 자성층과의 결합이 증가하기 때문으로 판단된다. 5분 동안 에칭한 경우에는 자기저항이 급격히 감소하는데, 이것은 상부 Co 층이 대부분 에칭 되면서 자성층이 손실되기 때문으로 판단된다. 앞서 언급한 바와 같이 에칭시간이 길어질수록 표면 거칠기는 감소하지만 Co두께 변화에 비해 자기저항변화에 미치는 영향은 미미하였다.

#### 4. 결론

Mumetal(114 Å)/Co(4.4 Å)/Cu(36.2 Å)/Co(50 Å) 다층박막에서 상부자성층인 Co의 두께와

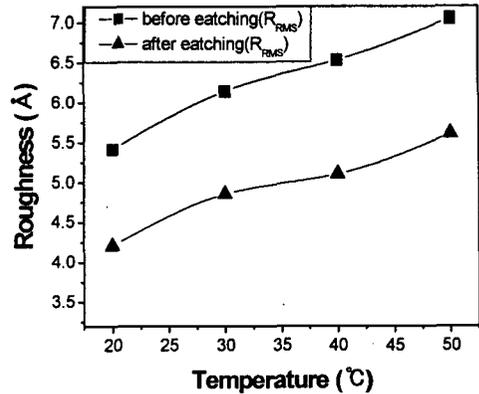


Fig. 3. Surface roughness as a function of growing temperature before and after etching.

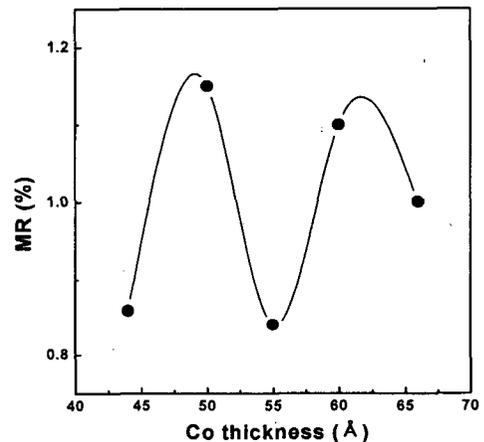


Fig. 4. MR as a function of the thickness of to Co layer.

etching에 따른 표면의 거칠기와 자기저항비의 변화를 조사하였다. 상부자성층의 두께에 따라 일정한 주기를 가지고 자기저항비가 진동한다.

또한 에칭을 함에 따라 표면 거칠기는 감소하였지만, 3분 에칭 후에는 자기저항비는 감소하고 상부 Co층의 자화 반전 자기장은 증가하였다. 5분 에칭 후에는 급격한 자기저항비의 감소를 보였다. 이것은 표면 거칠기는 감소했지만 상부자성층의 두께가 얇아지면서 자기적 특성을 상실한 것으로 판단된다.

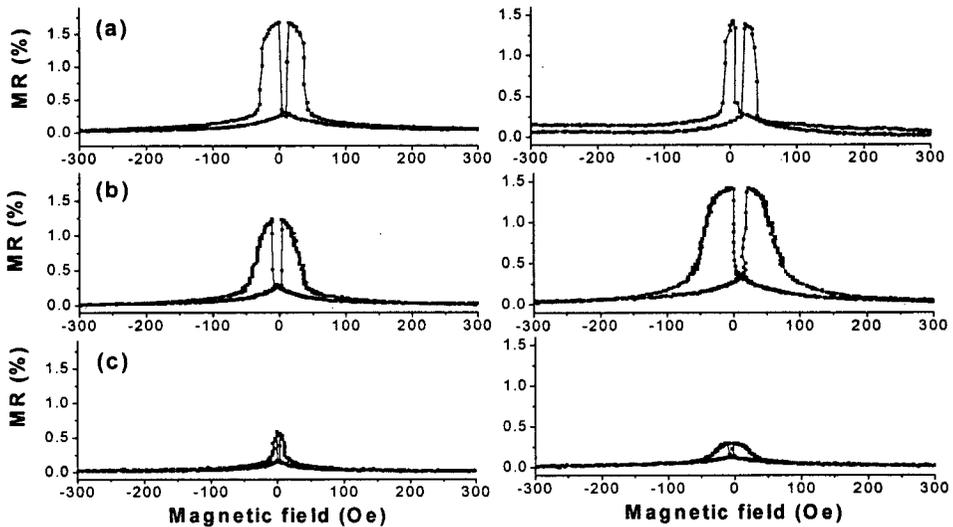


Fig. 5. MR loops in mumetal.(114 Å)/Co(4.4 Å)/Cu(36.2 Å)/Co(50 Å) samples fabricated at 20(left) and 40 °C(right).

### 감사의 글

본 연구는 고기능성 자성재료 연구센터에 의해 지원되었기에 감사 드립니다.

### 5.참고 문헌

- [1] J. Daughton and Y. J. Chen. IEEE Trans. Mag. MAG-29, 2750, 1993.
- [2] C. Tsang, R. E. Fonatana, T. Lin, D. E. Heim, V. S. Sperious, B. A. Gurney, and M. L. Williams. IEEE Trans. Mag. MAG-30, 3801, 1994.
- [3] R. Rottmayer, and J.G. Zhu. IEEE Trans. Mag MAG-31, 2597, 1995.
- [4] Z. G. Wang, Y. Nakamura. IEEE Trans. Mag MAG-32, 520, 1993.
- [5] A. V. Pohm, J. M. Daughton, J. Brown, and R. Beech. IEEE Trans. Mag. MAG-31, 3200, 1995.
- [6] J. M. Daughton, J. Appl. Phys., 81, 3758, 1997.
- [7] D. E. Heim, R. E. Fonatana, Jr., C. Tsang, B. S. Sperious, B. A. Gurney, and M. L. Williams. IEEE Trans. Mag MAG-30, 316, 1994.
- [8] J. M. Daughton, J. Brown, A. E. Chen, R. Beech, A. Pohm, and W. Kude. IEEE Trans. Mag. MAG-30, 4608, 1994.
- [9] Xiao J Q. IEEE Trans. Mag. MAG-29, 2688, 1993.
- [10] Th. G. S. M. Rijks, R. Coehoorn, J. T. F. Daeman, and W. J. M. de Jonge. J. Appl. Phys., 76, 1092, 1994.
- [11] D. H. Han, J. G. Zhu, J. H. Judy and J. M. Sivertsen. IEEE. Trans. Magn, 33. 3550, 1997.
- [12] J. Nogues, D. Lederman, I.K. Schuller, and K. V. Rao paper CD-05, MMM'95 Philadelphia, PA, November 1995.
- [13] T. J. Minvielle, R. L. White, paper CD-07, ibid.
- [14] E. Fullerton, M. J. Conover, J. E. Mattson, C. H. Sowere, and S. D. Bader, Appl. Phys. Lett., 63, 1699, 1993.
- [15] B. Dieny, P. Humbert, B. S. Speriosu, B. A. Gurney, P. Baumgart and H. Lefakis, Phys. Rev. B47, 806, 1992.