

Top형 스핀밸브구조에서 반강자성체 두께 변화에 따른 자기적 특성 연구

김상윤 · 고훈 · 최경호 · 이창우 *

국민대학교 나노전자물리학, 서울특별시 성북구 정릉3동 861-1, 136-702

김지원 · 조순철

승실대학교 정보통신전자공학부, 서울특별시 동작구 상도 5동 1-1, 156-743

(2007년 1월 15일 받음, 2007년 2월 15일 최종수정본 받음)

본 연구에서는 하지층으로 Mo를 사용한 스핀밸브구조에서 반강자성체 IrMn의 두께 변화에 따른 자기적 특성을 연구하였다. 사용된 스핀밸브는 Si기판/SiO₂(17 Å)/NiFe(21 Å)/CoFe(28 Å)/Cu(22 Å)/CoFe(18 Å)/IrMn(t Å)/Ta(25 Å) 구조이다. Mo 박막의 비저항은 600 °C에서 650 °C 열처리 후 급격히 증가하였다. 반강자성체인 IrMn의 두께 변화(130 Å까지)에 따른 자기저항비와 교환결합력을 측정하였다. IrMn의 두께가 65 Å 일때 자기저항비와 교환결합력은 9.65 %와 337.5 Oe로 최고값을 나타냈다. 그러나 두께를 더욱 증가시킨 97.5 Å 일때 자기저항비와 교환결합력은 8.2 %와 285 Oe로 감소하였으며, IrMn의 두께가 130 Å 일때 자기저항비와 교환결합력은 더욱 감소한 7.65 %와 257.5 Oe이었다.

주제어 : GMR, 스핀밸브, IrMn, Mo 하지층

I. 서 론

거대자기저항 현상은 학문적인 연구뿐 아니라 산업체에서 응용 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4]. 고밀도 자기기록 매체의 재생헤드 및 자기센서로 응용하기 위해서는 높은 자기저항비와 교환결합력을 필요로 하고 있다. 또한 소자로의 응용을 위한 집적 과정에서 Si 기판을 사용하는 반도체 공정과의 연계문제로 Ta, TaN, Mo 및 MoN 등 다양한 하지층에 관한 연구가 진행되고 있다[5-7]. 최근에는 여러 종류의 하지층과 반강자성층에 의한 높은 교환결합력과 자기저항비를 얻기 위한 연구도 활발히 되고 있다[8].

본 연구에서는 Mo 하지층을 사용한 스핀밸브 구조에서 반강자성체로 사용한 IrMn 층의 두께 변화에 따른 자기적 특성 변화를 연구하였다.

II. 실험 방법

Si 기판위에 Mo 하지층을 이용한 스핀밸브 구조의 박막을 증착하였다. 스핀밸브 박막의 구조는 Si기판/SiO₂(2000 Å)/Mo(17 Å)/NiFe(21 Å)/CoFe(28 Å)/Cu(22 Å)/CoFe(18 Å)/IrMn(t Å)/Ta(25 Å)이다. 스핀밸브 박막을 증착하기 위하여 2 인치 8 타겟 DC 마그네트론 스퍼터링 장비를 사용하였다. 스핀밸브 박막 증착 시 초기 진공도는 2.0×10⁻⁷ Torr 이하였으며 박막에 자화 용이축을 형성시키기 위하여 기판주위에 영구자석을 배치하여 약 600 Oe 정도의 자장을 인가하였다.

스핀밸브 박막은 0.5 inch×0.5 inch 기판위에 선폭이 200 μm와 500 μm이 되도록 증착 하였다. 각 층을 증착할 때 아르곤 가스 압력은 6.0 mTorr로 고정하였다. 또한 Mo 박막의 열적인 안정성을 조사하기 위하여 급속열처리(RTA : rapid thermal annealing) 장치를 사용하여 질소분위기 속에서 30초간 열처리를 실시하였다. 자기저항비는 4-point probe 방법을 사용하여 상온에서 인가자장을 1,000 Oe까지 증가 시키며 측정하였고, 박막의 두께는 α-step을 사용하여 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 Si 기판 위에 스핀밸브구조 다층박막의 각각의 증착률을 측정한 결과는 다음과 같다. Mo 박막의 증착률은

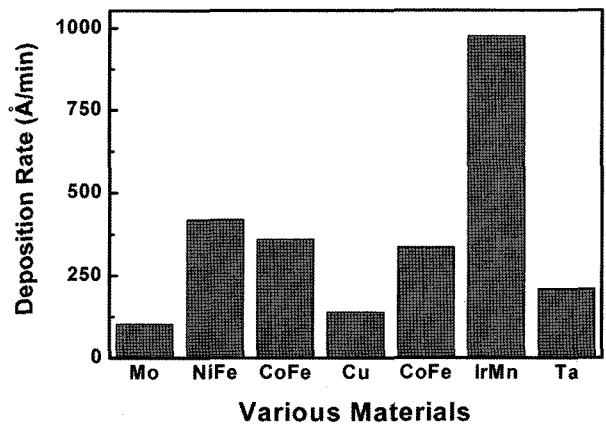


Fig. 1. Deposition rates of spin valve multilayers for various materials.

*Tel: (02) 910-4756, E-mail: cwlee@phys.kookmin.ac.kr

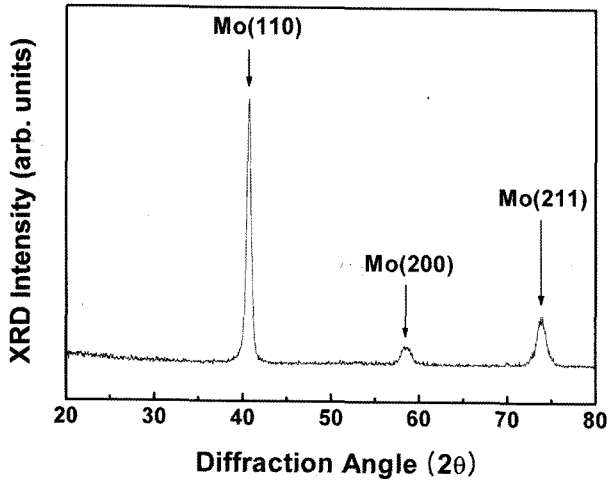


Fig. 2. XRD pattern of as-deposited Mo thin film on SiO₂/Si substrate.

102.4 Å/min이며, NiFe 박막인 경우에는 420 Å/min, CoFe 박막의 경우는 360 Å/min, Cu는 139 Å/min, CoFe는 336 Å/min, IrMn은 975 Å/min, 그리고 capping layer인 Ta 박막의 경우는 210 Å/min 임을 알 수 있다. 이러한 결과들로부터 각각의 박막층의 두께를 정확하게 조절할 수 가 있으므로 원하는 스핀밸브 구조를 만들수가 있었다.

Fig. 2는 하지층으로 사용한 Mo 박막은 bcc 구조이며, 이러한 Mo 박막의 XRD 결과를 나타낸 것이다. Mo 박막은 (110), (200) 그리고 (211) α-Mo상이 각각 40.7°, 58.7° 그리고 73.9°에서 나타났다.

Fig. 3은 하지층으로 사용한 Mo 박막에 대한 열처리 온도 별 비저항 값의 변화를 나타낸 그림이다. 열처리전인 상온에서는 Mo 박막의 비저항값이 19.3 μΩ-cm 이었다. 그리고

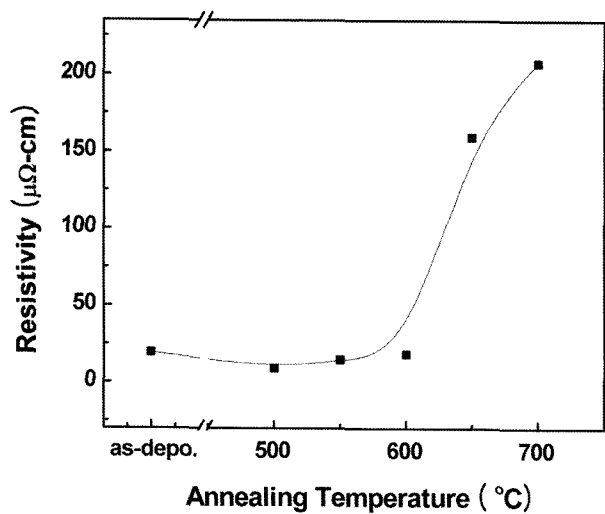


Fig. 3. Resistivity of Mo thin film as a function of annealing temperature.

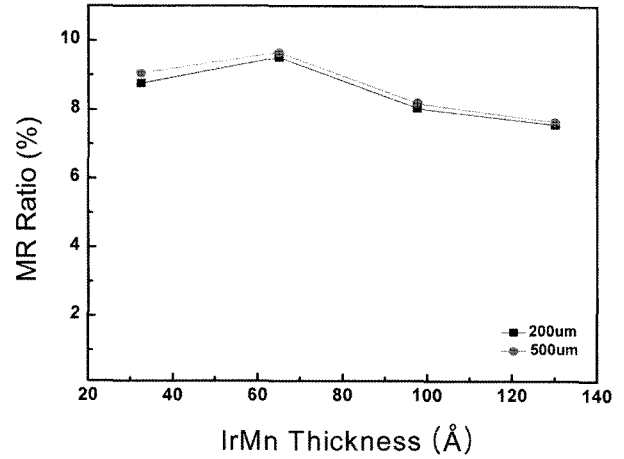


Fig. 4. MR ratio of spin valve structures as a function of thickness of antiferromagnetic IrMn thin film (Line Width : 200 μm and 500 μm).

Mo 박막을 500 °C에서 열처리 한 후 측정된 비저항 값은 9.11 μΩ-cm로 감소하였다.

그러나 열처리 온도를 550 °C까지 증가시킨 경우의 비저항 값은 14.62 μΩ-cm로 약간 증가하였다. 또한 열처리 온도를 600 °C까지 증가 시킨 경우에는 조금 더 증가한 18.22 μΩ-cm 이었다. 그러나 650 °C까지 증가시켰을 경우에는 비저항 값이 급격히 증가한 160 μΩ-cm이었고 700 °C에서의 비저항은 207.6 μΩ-cm로 더욱 증가하였다. 이는 하지층인 Mo과 Si기판 사이의 계면에서 MoSi_x(Molybdenum Silicide)가 형성 되기 때문에 비저항의 급격한 증가가 생기게 된다[7].

Fig. 4는 하지층으로 17 Å의 Mo 박막을 사용한 경우에 대하여 스핀밸브 구조 성분층 반강자성체인 IrMn 박막의 두께에 따른 자기저항비의 의존성 나타낸 그래프이다. IrMn의 두께가 32.5 Å 일때 자기저항비는 9.05 % 이었고, 65 Å 일

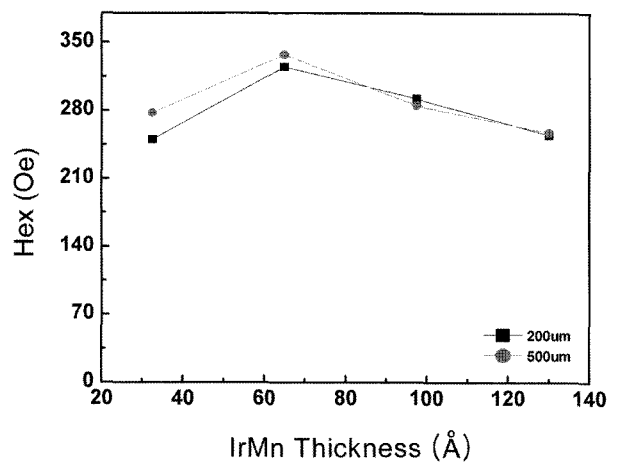


Fig. 5. H_{ex} of spin valve structures as a function of thickness of antiferromagnetic IrMn thin film (Line Width : 200 μm and 500 μm).

때는 자기저항비가 가장 큰 9.65%가 되었다. 그러나 97.5 Å 일때는 자기저항비는 8.05%로 감소하였고, 130 Å 일때는 7.58%로 더욱 감소하였다. 이로부터 특정한 17 Å의 Mo 박막의 두께에 대하여 IrMn의 두께가 65 Å일 경우가 가장 높은 자기저항비를 가지는 것을 알 수가 있었다.

Fig. 5는 하지층으로 17 Å의 Mo 박막을 사용한 경우 스핀밸브 박막의 반강자성체 IrMn의 두께 변화에 따른 교환결합력의 변화를 나타낸 그래프이다. IrMn의 두께가 32.5 Å 일때 교환결합력은 277.5 Oe 이었고, 65 Å 일때는 337.5 Oe 이었다. 그러나 IrMn의 두께를 더 증가시킨 97.5 Å 일때는 285 Oe로 감소하였고, 130 Å 일때는 더욱 감소한 257.5 Oe 이었다. 그러나 130 Å 이하의 IrMn 박막의 두께에 대하여 H_{ex} 값이 250 Oe 이상이 되는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

스핀밸브 다층박막에서 Mo 박막의 비저항 값은 열처리 온도가 600 °C까지 큰 변화는 없었고, 600 °C에서 650 °C 사이에서 비저항 값이 160 $\mu\Omega\text{-cm}$ 로 급격히 변함을 알 수 있었다. 또한 700 °C 열처리 시 비저항은 207.6 $\mu\Omega\text{-cm}$ 로 더욱 증가하였다. 이로부터 Mo 하지층의 경우는 600 °C까지는 비저항 값이 안정한 것을 알 수가 있었다.

Mo 박막을 하지층으로 사용한 스핀밸브구조에서 IrMn의 두께변화에 따른 자기저항비와 교환결합력을 측정하였다. 반강자성체인 IrMn의 두께가 65 Å 일때 최고 9.65%의 자기저항비를 나타냈고, 97.5 Å 일때 8.2%로 감소하였다. 그리고 두께를 더 증가시켰을 경우 자기저항비는 더욱 감소 하므로써 반강자성체의 두께 변화에 따라 자기저항비가 의존함을 알 수 있었다. 그리고 교환결합력은 IrMn의 두께가 65 Å 일

때 337.5 Oe로 최고값을 가졌고, IrMn의 두께를 더 증가시킨 97.5 Å 일때는 285 Oe로 감소하였다. 그리고 두께를 더 증가시킨 130 Å 일때는 더욱 감소한 257.5 Oe 이었다. 이는 반강자성층이 일정두께 이상에서 외부 인가자장에 의해 부분적인 자화 회전이 발생하며, 이로인해 반강자성 결합력이 약화된 것으로 보이고, 이로써 교환결합력 역시 자기저항비와 마찬가지로 반강자성체인 IrMn의 두께 변화에 의존적임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 국민대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌음.

참고문헌

- [1] Z. Qian, J. M. Daughton, D. Wang, and M. Tondra, IEEE Trans. Magnetics, **39**(5), 3322 (2003).
- [2] E. W. Hill, IEEE Trans. Magnetics, **36**(5), 2785 (2000).
- [3] B. Dieny, V. S. Speriosu, S. Metin, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, P. Baumgart, and D. R. Wilhoit, J. Appl. Phys., **69**(8), 4774 (1991).
- [4] B. Dieny, V. S. Speriosu, S. Metin, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, P. Baumgart, and D. R. Wilhoit, J. Appl. Phys., **69**(8), 4774 (1991).
- [5] J. Kim, S. Jo, S. Y. Kim, H. Ko, and C. W. Lee, J. Korean Magn. Soc., **16**(5), 240 (2006).
- [6] Y. B. Choi, J. Kim, S. Jo, and C. W. Lee, J. Korean Magn. Soc., **16**(5), 240 (2005).
- [7] J. Kim, Y. Choi, S. Jo, S. Y. Kim, and C. W. Lee, IEEE Trans. Magnetics, **42**(10), 3267 (2006).
- [8] M. Pakala, Y. Huai, and G. Anderson, IEEE Trans. Magnetics, **36**(5), 2620 (2000).

Magnetic Properties of Top-type Spin Valve Structure for Various Thickness of IrMn Antiferromagnet

Sang Yoon Kim, Hoon Ko, Kyoung Ho Choi, and Chang Woo Lee*

Dept. of Nano & Electronic Physics Kookmin University, 861-1, Jeongneung-dong, Seongbuk-gu, Seoul 136-702, Korea

Jiwon Kim and Soonchul Jo

School of Electronic Engineering, Soongsil University, 511, Sangdo-dong, Dongjak-gu, Seoul 156-743, Korea

(Received 15 January 2007, in final from 15 February 2007)

In this research, magnetic properties of spin valve structures using IrMn layers as antiferromagnetic were studied depending on the thickness of the pinned layer. The spin valve structure was Si substrate/SiO₂(2,000 Å)/Mo(17 Å)/NiFe(21 Å)/CoFe(28 Å)/Cu(22 Å)/CoFe(18 Å)/IrMn(*t* Å)/Ta(25 Å). Also, Mo film was deposited on Si substrates and the thermal annealing effect was analyzed. The resistivity of the Mo film was increased as an annealing temperature was increased up to 600 °C. The variations of MR ratio were related with magnetic exchange coupling field of the spin valve structures for various IrMn pinned layer thickness up to 130 Å. MR ratio and H_{ex} of spin valves was about 9.05 % and 277.5 Oe when the thickness of the IrMn pinned layer was 32.5 Å ($t = 32.5$ Å). It was increased to 9.65 % and 337.5 Oe for $t = 65$ Å. For $t = 97.5$ Å, the MR ratio and H_{ex} decreased to 8.2 % and 285 Oe, and further decrease was observed up to $t = 130$ Å.

Keywords : GMR, spin valve, IrMn, Mo underlayer