

MoN 하지층을 이용한 스핀밸브의 자기저항 특성

김지원* · 조순철

승실대학교 정보통신전자공학부, 서울특별시 동작구 상도동 511, 156-743

김상윤 · 고훈 · 이창우

국민대학교 나노전자물리학과, 서울특별시 성북구 정릉동 861-1, 136-702

(2006년 10월 10일 받음, 2006년 10월 20일 최종수정본 받음)

본 연구에서는 하지층으로 사용한 Mo(MoN)의 두께 변화에 따른 스핀밸브 구조의 자기적 특성과 열처리 결과를 비교 검토하였다. 사용된 스핀밸브는 Si기판/SiO₂/Mo(MoN)(tÅ)/NiFe(21 Å)/CoFe(28 Å)/Cu(22 Å)/CoFe(18 Å)/IrMn(65 Å)/Ta(25 Å) 구조이다. 또한 본 연구에서는 MoN 하지층을 Si 기판에 증착하여 열처리 후 특성을 분석하였다. MoN 박막의 질소량이 증가(5 sccm까지)할수록 비저항은 증가하였다. 600 °C에서 열처리 후 측정된 XRD 결과를 보면 Si/Mo(MoN) 박막에서 구조화합물을 발견할 수 없었다. MoN을 하지층으로 사용할 경우 300 °C에서 열처리 후 측정된 XPS 결과를 보면 질소 유입량이 5 sccm인 경우가 질소 유입량이 1 sccm인 경우보다 안정적임을 알았다. Mo(MoN) 하지층을 사용한 경우 하지층 두께 변화(45 Å까지)에 따라 자기저항비와 교환결합력의 변화는 소폭이었다. Mo 하지층의 열처리 온도별 자기저항비는 열처리 전 상온에서 7.0 %이었고, 220 °C 열처리 때 7.5 %로 증가하였다. 이후 열처리 온도를 300 °C까지 증가 시키면 자기저항비는 7.5 %에서 3.5 %로 감소하였고, 질소유입량이 변화(5 sccm까지)하여도 유사한 경향을 보였다.

주제어 : GMR, 스핀밸브, 하지층, MoN

I. 서 론

거대자기저항 현상은 학문적인 연구뿐 아니라 산업체에서 응용 분야에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4]. 최근에는 소자의 집적 과정에서 Si 기판을 사용하는 반도체 공정과의 연계문제로 다양한 하지층에 관한 연구가 진행되고 있다[5]. 또한 하지층은 이웃하는 자성층의 결정성장에 영향을 주어 스핀밸브의 자기저항비 향상에 지대한 영향을 주는 것으로 보고 되었다. 또한 박막의 열적 안정성에 대한 연구뿐만 아니라 자성층과 반강자성층에 의한 높은 교환결합력과 자기저항비를 얻기 위한 연구도 활발히 되고 있다[6].

본 연구에서는 스핀밸브 구조에서 하지층으로 사용한 Mo(MoN) 층의 두께 변화에 따른 자기적 특성과 열처리 결과를 비교 검토하였다. 또한 Mo(MoN) 하지층의 열처리 후 특성을 분석하였다.

II. 실험 방법

Si 기판위에 다양한 하지층을 이용한 스핀밸브 구조의 박막을 증착하였다. 스핀밸브 박막의 구조는 Si기판/SiO₂/

Mo(MoN)(t Å)/NiFe(21 Å)/CoFe(28 Å)/Cu(22 Å)/CoFe(18 Å)/IrMn(65 Å)/Ta(25 Å)이다. 스핀밸브 박막을 증착하기 위하여 2 인치 8 타겟 DC 마그네트론 스퍼터링 장비를 사용하였다. 스핀밸브 박막 증착 시 초기 진공도는 1.5×10^{-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. 질소가 첨가된 하지층은 아르곤 가스와 질소 가스의 혼합 가스를 사용하였으며, 질소 가스의 유입량은 0 sccm에서 5 sccm까지 변화시켰다. 또한 열적 안정성을 알아보기 위하여 5×10^{-4} Torr 이하의 진공에서 170 °C부터 300 °C까지 1시간 동안 약 2 kOe 자장을 인가하면서 누적 열처리를 하였다. 또한 하지층 박막의 열처리 후 특성은 RTA(rapid thermal annealing)를 700 °C까지 30초씩 누적하여 실시하였다. 자기저항비는 4-point probe 방법을 사용하여 상온에서 인가 자장을 1,000 Oe까지 증가 시키며 측정하였고, 박막의 두께는 α-step을 사용하여 측정하였고, 하지층의 질소량 변화와 열처리 후 기판과 하지층과의 확산 여부 및 결정성장을 확인하기 위하여 XRD(X-ray diffractometer)를 사용하였다. 박막의 결합에너지 변화를 확인하기 위하여 XPS(X-ray photoemission spectroscopy)를 사

*Tel: (02) 815-6471, E-mail: kjwptt@ssu.ac.kr

용하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 Si 기판 위에 Mo 박막과 5.0 sccm까지 질소량의 유입량을 변화시켜 증착한 MoN 박막의 비저항을 상온과 RTA 열처리 후 측정된 결과이다. RTA 열처리는 각 온도마다 30초씩 실시하였다. 상온에서 질소를 주입하지 않은 Mo 박막의 비저항은 $19.3 \mu\Omega\text{-cm}$ 이었다. Mo 박막을 500°C 에서 RTA 한 후 측정된 비저항은 $9.11 \mu\Omega\text{-cm}$ 로 감소하였다.

그러나 RTA 온도를 600°C 까지 증가 시키며 측정된 비저항은 $18.22 \mu\Omega\text{-cm}$ 로 천천히 증가하였다. 그리고 RTA 온도를 600°C 이상으로 증가시켜 700°C 에서의 비저항은 $207.6 \mu\Omega\text{-cm}$ 로 급격히 증가하였다. 질소가 유입된 다른 MoN 박막도 RTA 온도 변화에 대하여 유사한 경향을 보였다. 비저항이 RTA 온도 600°C 에서 650°C 로 증가하는 동안 급격히 증가하는 것은 열처리 하는 동안 Mo의 규소화합물상이 생겼기 때문이라 생각한다. 질소 유입량이 5 sccm인 경우는 Mo의 규소화합물상의 형성이 650°C 부터 이루어지는 것으로 생각된다.

Fig. 2는 질소 유입량 변화에 따른 Mo와 MoN 박막의 상온에서의 XRD 결과를 나타낸 것이다. 질소 유입량이 0 sccm인 경우 (110), (330) 그리고 (211) α -Mo상이 각각 40.7° , 57.0° 그리고 73.2° 에서 나타났다. 질소 유입량이 1 sccm인 경우 (310)과 (211) α -Mo상이 각각 39.9° 와 73.2° 에서 나타났으며, 57.0° 에 (330) Mo상과 55.5° 의 (100) MoN

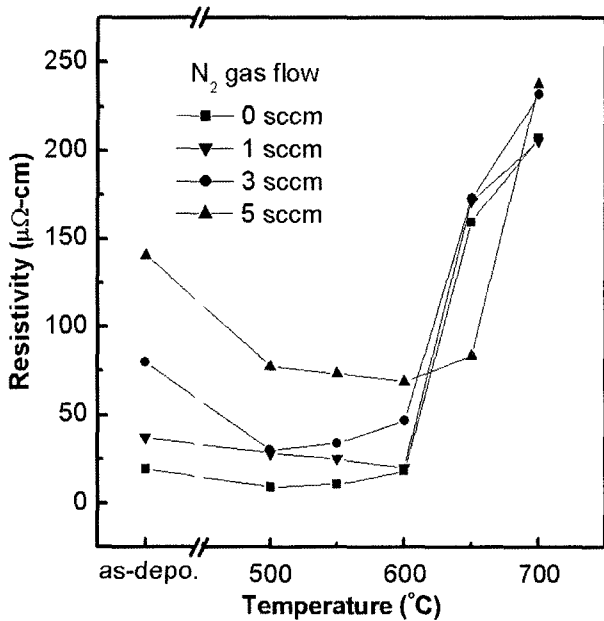


Fig. 1. Resistivity of MoN thin films for various N_2 gas flow as a function of annealing temperature.

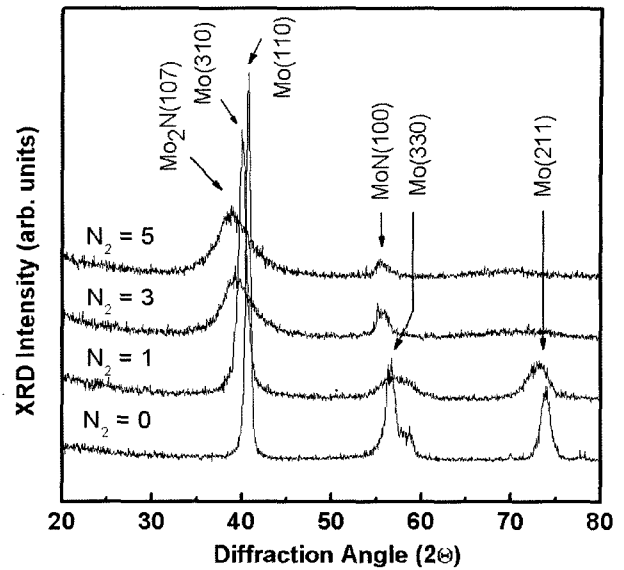


Fig. 2. XRD pattern of as-deposited MoN/Si substrate for various nitrogen gas flow.

상이 겹쳐져 나타났다. 질소 유입량이 1 sccm인 경우는 결정면이 (110)에서 (310)으로 변하는 α -Mo상과 (100) MoN상이 섞여 있는 것으로 나타났다. 질소의 유입량을 증가 시키면 (107) Mo_2N 상과 (100) MoN상이 각각 38.5° 와 55.5° 에서 나타나고 Mo상은 사라졌다.

Fig. 3은 질소 유입량 변화에 따른 Mo와 MoN 박막의 600°C RTA 열처리 후의 XRD 결과를 나타낸 것이다. 질소

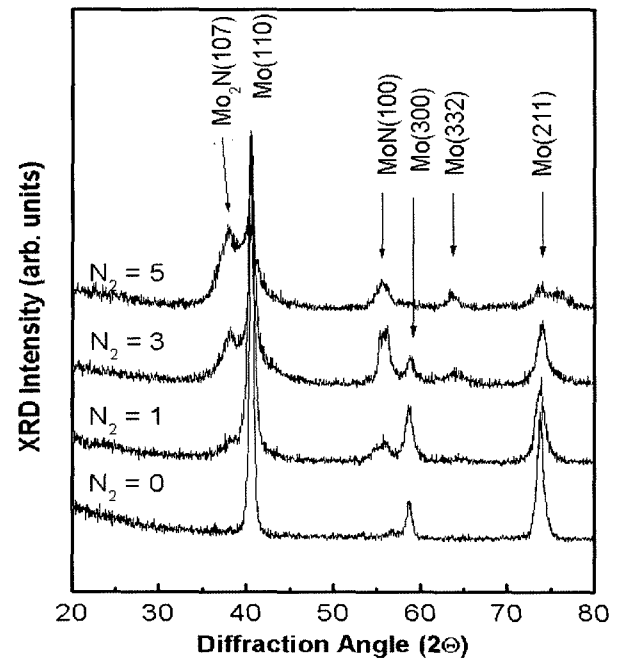


Fig. 3. XRD pattern of MoN/Si substrate after RTA at 600°C for various nitrogen gas flow.

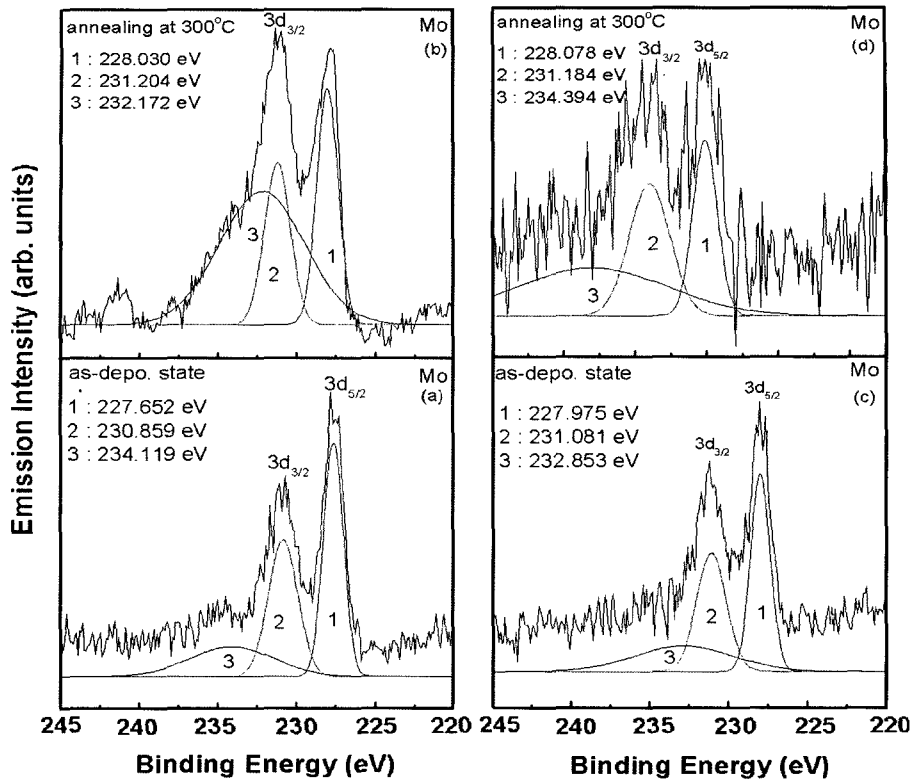


Fig. 4. XPS spectra of MoN thin films deposited with N₂ gas flow of 1 (a, b) and 5 (c, d) sccm. Annealing was done at 300 °C for 1 h.

유입량이 0 sccm인 경우 (110), (300) 그리고 (211) α-Mo상이 각각 40.7°, 59.0° 그리고 73.2°에서 나타났다. 질소 유입량이 1 sccm인 경우 600 °C RTA 열처리 이후 (310) Mo상은 (110) Mo상으로 변화하였으며, 55.5°의 위치에 (100) MoN상이 생김을 알 수 있었다. 질소 유입량이 3 sccm 이상인 경우 MoN상과 Mo₂N상이 증가 하였다. 또한 질소 유입량이 5 sccm에서는 Mo상의 감소함이 관찰되었다. 질소유입량 5 sccm인 경우까지 하지층과 기판과의 확산에 의한 규소화합물상이 RTA 온도 600 °C까지 나타나지 않았다. 이것은 MoN 하지층이 기판과의 사이에 확산 방지막으로서의 역할을 할 수 있음을 보여주는 것이다.

Fig. 4는 MoN 박막의 결합에너지 변화를 관찰하기 위한 XPS 결과를 나타낸 것이다. Mo 3d 부각에는 두개의 가능한 스핀케도 상태(j = 5/2와 3/2)가 존재하며, 각각 226 eV와 232 eV이다. MoN 박막에 질소 유입량이 1 sccm과 5 sccm 일때 Mo 3d 상태의 결합에너지를 300 °C에서 1시간 열처리 전후를 비교하였다. MoN 박막을 증착할 때 질소 유입량이 1 sccm일 경우 열처리 후 Mo 3d의 두 상태(5/2와 3/2)는 각각 227.650 eV와 230.859 eV에서 228.030 eV와 231.204 eV로 증가하였다. 그리고 질소 유입량이 5 sccm일 경우 열처리 후 Mo 3d의 두 상태는 각각 227.975 eV와 231.081 eV에서 228.078 eV와 231.184 eV로 증가하였다. 질소 유입량이

5 sccm일 경우 열처리 전과 후의 Mo 3d_{5/2} 상태의 결합에너지 변화는 0.103 eV로 작았다. 질소 유입량이 1 sccm일 경우 열처리 전과 후의 Mo 3d_{5/2} 상태의 결합에너지 변화는 0.380 eV로 질소 유입량이 5 sccm인 경우보다 3배 컸다. 그러므로, 질소 유입량이 5 sccm인 경우의 MoN의 박막이 질소 유입량이 1 sccm인 경우보다 안정적이라 할 수 있다.

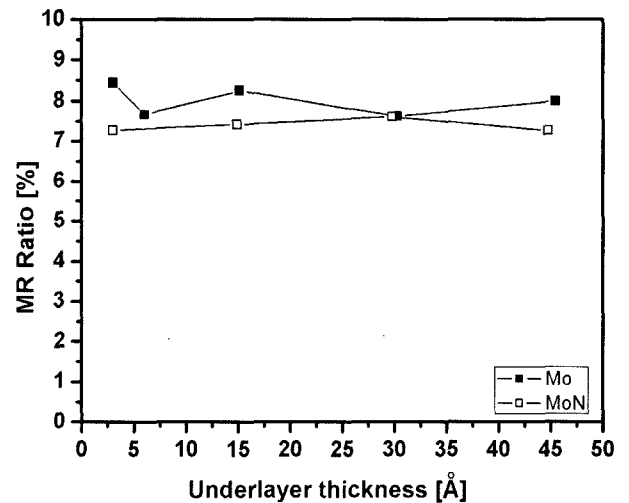


Fig. 5. MR ratio of spin valve structures as a function of underlayer Mo and MoN thickness.

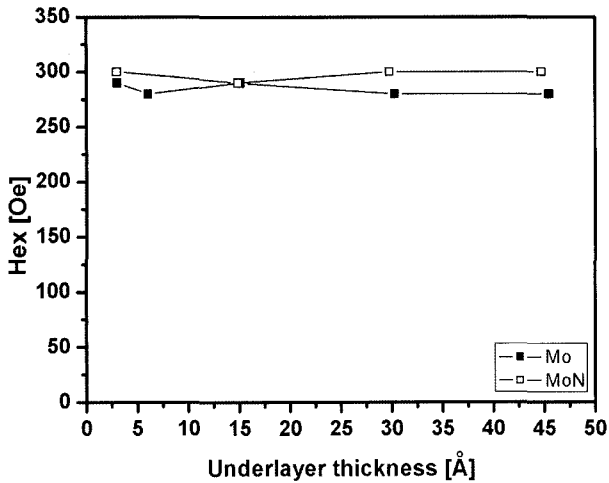


Fig. 6. H_{ex} of spin valve structures as a function of underlayer Mo and MoN thickness.

Fig. 5는 하지층으로 Mo(MoN) 박막을 이용한 경우 스핀 밸브 박막의 자기저항비의 하지층 두께에 따른 의존성을 나타낸 것이다. 질소가 첨가된 하지층은 유입량이 1 sccm인 경우이다. Mo 하지층의 경우 자기저항비는 최소 7.62%에서 최대 8.45%까지 소폭 변화 하였으며, MoN 하지층의 경우 또한 자기저항비는 최소 7.25%에서 최대 7.55%까지 소폭 변화하였다.

Fig. 6은 하지층으로 Mo(MoN) 박막을 이용한 경우 스핀 밸브 박막의 교환결합력의 하지층 두께에 따른 의존성을 나타낸 것이다. 질소가 첨가된 하지층은 유입량이 1 sccm인 경우이다. Mo 하지층의 경우 교환결합력은 최소 220 Oe에서 최대 250 Oe으로 소폭 변화하였으며, MoN 하지층의 경우 교환결합력은 최소 280 Oe에서 최대 305 Oe로 소폭 변화

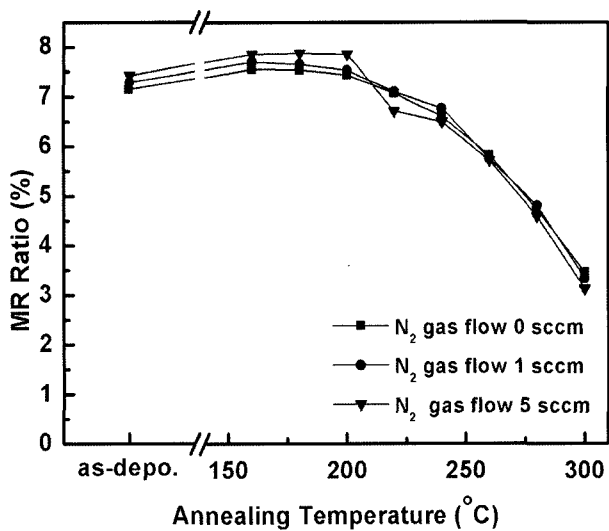


Fig. 7. MR ratio of spin valve structures for various N_2 gas flow as a function of annealing temperature.

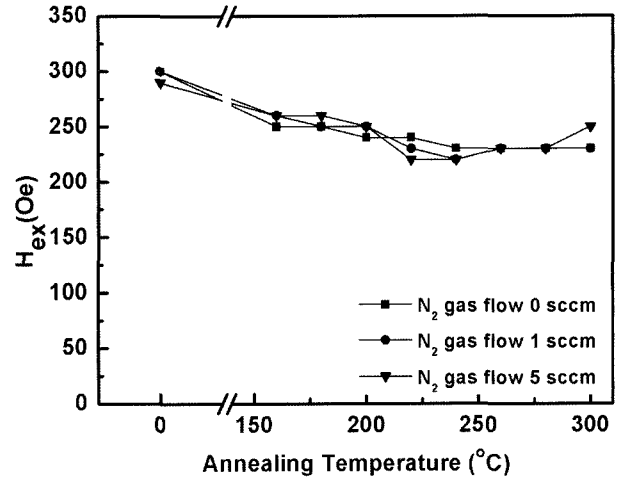


Fig. 8. H_{ex} of spin valve structures for various N_2 gas flow as a function of annealing temperature.

였다. 이를 통해 스핀밸브 박막 증착 시 하지층으로 Mo과 MoN을 사용하는 경우 자기저항비와 교환결합력 특성의 두께 의존성(45 Å까지)이 크지 않음을 알 수 있었다.

Fig. 7은 MoN 하지층을 이용하여 질소 유입량에 따른 스핀밸브 박막을 제작하고 열처리 온도별 자기저항비를 나타낸 것이다. 자기저항비는 열처리 전 상온에서 7.0~7.5%이었고, 220 °C 열처리 때 7.5~8.0%로 증가하였다. 이후 열처리 온도를 300 °C까지 증가 시키면 자기저항비는 7.5~8.0%에서 3.5%로 감소하였다. 이러한 경향은 질소유입량의 변화하여도 유사하는 경향을 보였다.

Fig. 8은 MoN 하지층을 이용하여 질소 유입량에 따른 스핀밸브 박막의 열처리 온도별 교환결합력을 나타낸 것이다. 교환결합력은 열처리 전 상온에서 290~310 Oe이었고, 220 °C 열처리 때 220~240 Oe로 감소하였다. 이후 열처리 온도를 300 °C까지 증가 시키면 교환결합력은 230~270 Oe로 증가하였다.

IV. 결 론

스핀밸브에서 Mo 하지층에 질소유입량이 증가하면 비저항은 크게 증가하였다. 열처리 온도에 따른 특성은 질소유입량에 관계없이 유사하게 RTA 600 °C까지 비저항은 감소하였으며 이후 크게 증가하였다.

질소유입량 변화에 따른 MoN 박막을 열처리후 XRD를 통하여 RTA 600 °C까지 규소화합물이 생성되지 않음을 확인하여 확산 방지막 역할을 할 수 있음을 확인하였다.

MoN 하지층의 경우 300 °C에서 열처리 후 측정된 XPS 결과를 보면 질소 유입량이 5 sccm인 경우가 질소 유입량이 1 sccm인 경우보다 안정적임을 알았다.

Mo(MoN) 하지층의 두께 변화에 따른 자기저항비와 교환 결합력의 변화를 측정하였다. Mo 하지층의 경우 자기저항비는 최소 7.62 %에서 최대 8.45 %, 교환결합력은 최소 220 Oe에서 최대 250 Oe까지 소폭 변화하였다. MoN 하지층 또한 하지층 두께 변화(45 Å까지)에 따라 자기저항비와 교환결합력의 변화는 소폭 이었다. 이를 통해 스핀밸브 박막 증착 시 하지층으로 Mo(MoN)을 사용하는 경우 자기저항비와 교환결합력 특성의 두께 의존성이 작음을 알 수 있었다.

Mo 하지층의 열처리 온도별 자기저항비는 열처리 전 상온에서 7.0 %이었고, 220 °C 열처리 때 7.5 %로 증가하였다. 이후 열처리 온도를 300 °C까지 증가시키면 자기저항비는 7.5 %에서 3.5 %로 감소하였고, 질소유입량이 변화하여도 유사한 경향을 보였다.

감사의 글

본 연구는 숭실대학교 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] Y.-G. Yoo, S.-C. Yu, S.-G. Min, K.-S. Kim, and P.-W. Jang, Journal of Magnetics, **6**(4), 129 (2001).
- [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] H. G. Cho, Y. K. Kim, and S.-R. Lee, Journal of Magnetics, **7**(4), 147 (2002).
- [6] M. Pakala, Y. Huai, and G. Anderson, IEEE Trans. Magnetics, **36**(5), 2620 (2000).

Magnetoresistance Properties of Spin Valves Using MoN Underlayer

Jiwon Kim* and Soonchul Jo

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

Sang Yoon Kim, Hoon Ko, and Chang-Woo Lee

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

(Received 10 October 2006, in final form 20 October 2006)

In this paper, magnetic properties and annealing behavior of spin valve structures using Mo(MoN) layers as underlayers were studied varying the thickness of the underlayers. The spin valve structure was consisted of Si substrate/SiO₂(2,000 Å)/Mo(MoN)(t Å)/NiFe(21 Å)/CoFe(28 Å)/Cu(22 Å)/CoFe(18 Å)/IrMn(65 Å)/Ta(25 Å). Also, MoN films were deposited on Si substrates and their thermal annealing behavior was analyzed. The resistivity of the MoN film increased as the N₂ gas flow rate was increased. After annealing at 600 °C, XRD results did not show peaks of silicides. XPS results indicated MoN film deposited with 5 sccm of N₂ gas flow rate was more stable than the film deposited with 1 sccm of N₂ gas flow rate. The variations of MR ratio and magnetic exchange coupling field were small for the spin valve structures using Mo(MoN) underlayers up to thickness of 45 Å. MR ratio of spin valves using MoN underlayers deposited with various N₂ gas flow rate was about 7.0 % at RT and increased to about 7.5 % after annealing at 220 °C. Upon annealing at 300 °C, the MR ratio decreased to about 3.5 %. Variation of N₂ gas flow rate up to 5 sccm did not change the MR ratio and H_{ex} appreciably.

Key words : GMR, spin valve, underlayer, MoN