

Top형 스핀밸브 구조의 Si 기판에서의 하지층 두께에 따른 자기저항 특성 연구

고훈 · 김상운 · 김수인 · 이창우*

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

김지원 · 조순철

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

(2007년 1월 17일 받음, 2007년 2월 13일 최종수정본 받음)

본 연구에서는 하지층으로 사용한 Mo(MoN)의 두께 변화에 따른 스핀밸브 구조의 자기적 특성과 열처리 결과를 비교 검토하였다. 사용된 스핀밸브는 Si 기판/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 열처리후 특성을 분석하였다. Mo 박막에 비해 MoN 박막의 질소량이 증가할수록 증착률은 감소하였고, 비저항은 증가하였다. MoN 하지층을 사용한 경우 Mo의 경우보다 하지층 두께 변화(51 Å까지)에 따라 자기저항비와 교환결합력의 변화는 소폭이었다. Mo 하지층의 열처리 온도별 자기저항비는 열처리 전 상온에서 2.86% 이었고, 200 °C 열처리 때 2.91%로 증가하였다. 이후 열처리 온도를 300 °C까지 증가 시키면 자기저항비는 2.91%에서 2.16%로 감소하였다. 질소 유입량이 1 sccm인 MoN의 열처리 온도별 자기저항비는 열처리 전 상온에서 5.27%, 200 °C일때 5.56% 증가하였다. 이후 열처리 온도를 300 °C까지 증가 시키면 자기저항비는 5.56%에서 4.9%로 감소하였다.

주제어 : 스핀밸브, 하지층, MoN, 자기저항비, 교환결합력

I. 서 론

거대자기저항 현상은 학문적인 연구뿐 아니라 산업체의 여러 분야에서 많은 관심을 가지고 연구 되었다[1-3]. 최근에는 소자의 집적 과정에서 Si 기판을 사용하는 반도체 공정과의 연계문제로 다양한 하지층에 관한 연구가 진행되고 있다[4-6]. 또한 하지층은 이웃하는 자성층의 결정성장에 영향을 주어 스핀밸브의 자기저항비 향상에 지대한 영향을 주는 것으로 보고 되었다. 고밀도 자기기록 매체의 재생헤드 및 자기 센서로 응용되기 위해서는 높은 자기저항비와 소자제조 및 작동 시 발생하는 열에 대한 안정성이 요구된다[7-9].

본 연구에서는 스핀밸브 구조에서 SiO₂ 절연체 기판이 아닌 Si 기판에서의 하지층으로 사용한 Mo(MoN) 층의 두께 변화에 따른 자기적 특성과 열처리 결과를 비교 검토하였다.

II. 실험 방법

Si 기판/Mo(MoN)(tÅ)/NiFe(21 Å)/CoFe(28 Å)/Cu(22 Å)/CoFe(18 Å)/IrMn(65 Å)/Ta(25 Å) 스핀밸브 박막을 증착하기 위하여 2 인치 8 타겟 DC 마그네트론 스퍼터링 장치를 사용하였다. 스핀밸브 박막 증착시 초기 진공도는 1.0×10⁻⁷ Torr 이하였으며 박막에 자화 용이축을 형성시키기 위하여 기

판주위에 영구자석을 배치하여 약 600 Oe 정도의 자장을 인가하였다.

각 층을 증착할 때 아르곤 가스 또는 아르곤 가스와 질소 가스의 혼합 가스압력은 6.0 mTorr로 고정하였다. 질소 가스의 유입량은 0 sccm과 1 sccm으로 변화시키며 실험하였다. 또한 열적 안정성을 알아보기 위하여 5×10⁻⁴ Torr 이하의 진공에서 150 °C부터 300 °C까지 30분 동안 약 2 kOe 자장을 인가하면서 누적 열처리를 하였다. 또한 Mo 및 MoN 박막의 열적인 안정성을 조사하기 위하여 급속열처리(RTA : rapid thermal annealing) 장치를 사용하여 질소분위기 속에서 30초간 열처리를 실시하였다. 자기저항비는 4-point probe 방법을 사용하여 상온에서 인가 자장을 1,000 Oe까지 증가 시키며 측정하였고, 박막의 두께는 α-step을 사용하여 측정하였다. Mo와 MoN 박막의 열적 안정성을 조사하기 위하여 급속 열처리 장치를 사용하였다. N₂ gas 분위기에서 30초간 열처리를 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 질소량에 따른 Mo 과 MoN 박막의 증착률을 나타낸 그림이다. 질소 가스가 함유되지 않은 Mo박막은 약 104.2 Å/min, 질소량이 1 sccm인 경우 약 79.1 Å/min 이었으며 질소량이 증가함에 따라 급격히 감소하다가 5 sccm 이상에서 약 53.3 Å/min을 보였다. 7, 9, 11 sccm에서도 5 sccm과

*Tel: (02) 910-4752, E-mail: cskim@phys.kookmin.ac.kr

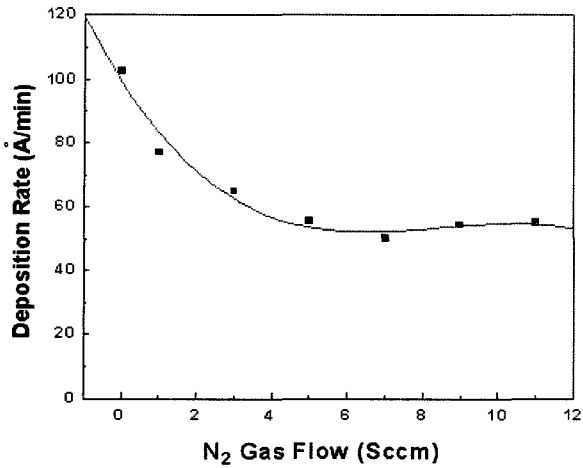


Fig. 1. Deposition rate of Mo and MoN thin films as a function of N₂ gas flow.

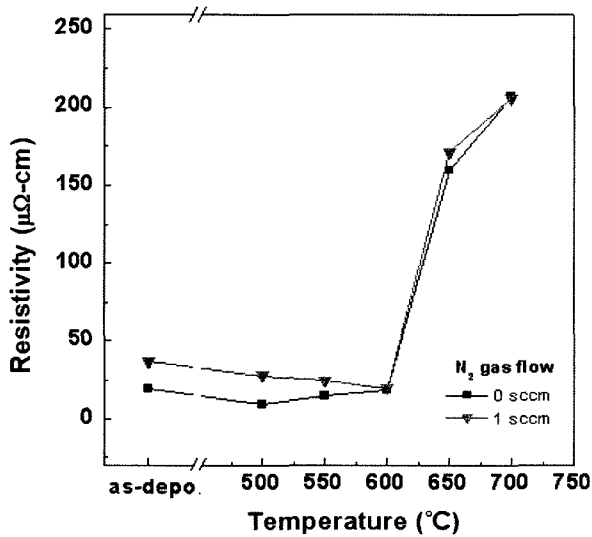


Fig. 2. Resistivity of Mo and MoN thin film as a function of N₂ gas flow of 0 and 1 sccm.

비슷한 52.3 Å/min 에서 54.8 Å/min 사이의 값을 보였다.

Fig. 2는 Si 기판 위에 질소가스의 유량을 각각 0 및 1 sccm 흘려 증착한 Mo 박막과 MoN 박막에 대하여 비저항을 상온과 급속열처리 후 측정된 결과이다. 상온에서 질소를 주입하지 않은 Mo 박막의 비저항은 19.3 μΩ-cm 이었고 500 °C에서 급속열처리 후의 비저항값은 9.11 μΩ-cm로 감소하였다. 그러나 그 이후 급속열처리 온도를 600 °C까지 증가시키는 동안 비저항값은 18.22 μΩ-cm까지 천천히 증가하였다. 그리고 급속열처리 온도를 600 °C 이상으로 증가시켜 700 °C에서의 비저항은 207.6 μΩ-cm로 급격히 증가하였다. 질소가스의 유량이 1 sccm인 MoN 박막의 경우, 600 °C까지는 비저항값이 계속적으로 감소하고 있어서 Mo 박막보다는 좀 더 열적으로 안정한 것을 확인할 수 있고, 600 °C 이상의

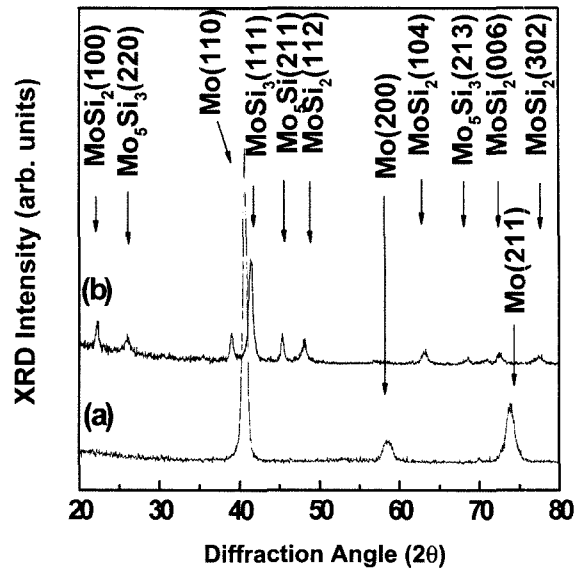


Fig. 3. XRD patterns of Si/Mo substrate after at (a) as-depo. (b) 650 °C.

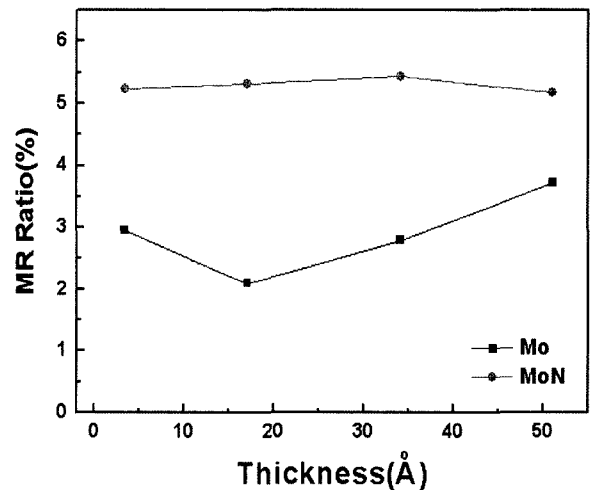


Fig. 4. MR ratio of spin valve structures as a function of underlayer thickness of Mo and MoN thin film.

경우에는 Mo 박막인 경우와 비슷한 경향성을 가짐을 확인하였다.

Fig. 3은 Si/Mo 박막에서 하지층인 Mo과 Si 기판과의 열처리 경우 확산 여부를 알아보기 위하여 실온, 650 °C에서 1 시간 동안 열처리 후 측정된 XRD 결과 이다. 그림에서 보듯이 Mo 박막은 650 °C에서 규소 화합물상인 MoSi₂, MoSi₃, Mo₅Si, Mo₃Si₃의 규소화합물상이 나타난 것으로 보아 하지층과 기판과의 사이에 확산이 이루어졌음을 알 수 있었다.

Fig. 4는 Si 기판위에 하지층으로 Mo(MoN) 박막을 이용한 경우 하지층 두께 변화에 따른 자기저항비를 나타낸 것이다. 질소가 첨가된 하지층은 질소가스의 유량이 1 sccm인 경

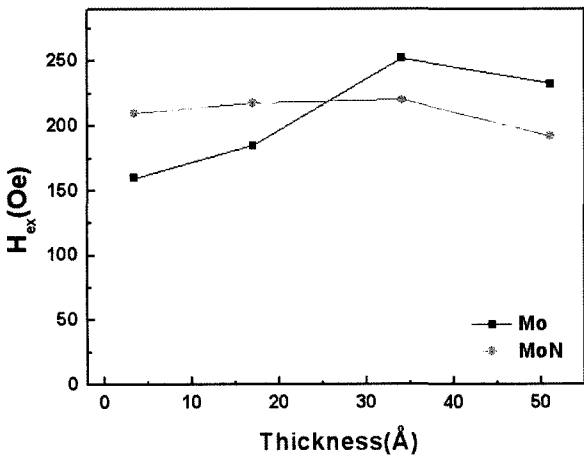


Fig. 5. H_{ex} of spin valve structures of Mo and MoN thin film as a function of underlayer thickness.

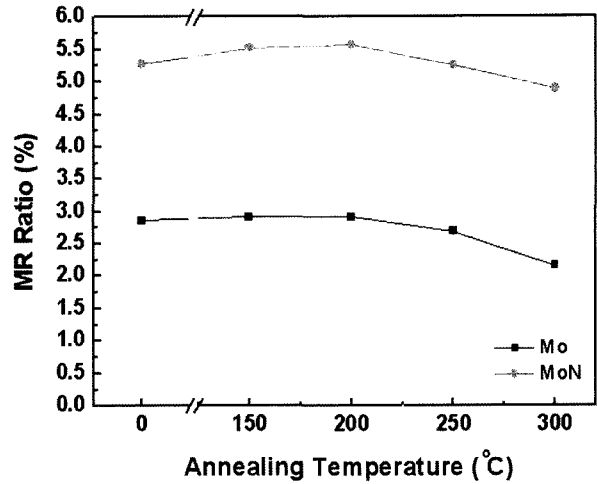


Fig. 6. MR ratio of spin valve structure for Mo and MoN thin film as a function of annealing temperature.

우이다. Mo 하지층인 경우 자기 저항비는 최소 2.1%에서 최대 3.72%의 비교적 낮은 자기저항비를 나타내었고, MoN의 하지층의 경우 최소 5.18%에서 최대 5.44%의 상대적으로 높은 자기저항비와 좁은 변화폭을 보였다. Fig. 5는 Si 기판위에 하지층으로 Mo 및 MoN 박막을 이용한 경우에 대하여 하지층 박막의 두께 변화에 따른 교환결합력을 나타낸 것이다. 질소가 첨가된 하지층은 질소 유입량이 1 sccm인 경우이다. Mo 하지층인 경우 교환결합력은 최소 160 Oe에서 최대 232 Oe까지 변화 하였으며, MoN 하지층인 경우 최소 192 Oe에서 최대 245 Oe로 미세하지만 상대적으로 Mo 하지층인 경우보다 다소 작은 변화폭을 보였다.

이 두 그림에서 스핀밸브 박막 증착시 Si 기판위의 각각의 Mo과 MoN 하지층을 사용하는 경우 두께에 따른 교환결합력과 자기저항비의 차이는 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 하지만, Mo와 MoN의 비교에서는 교환결합력의 차이는 그다지 크게 나타나지 않지만 자기저항비에서 큰 차이를 보임을 확인할 수 있다.

Fig. 6은 Mo과 MoN 하지층을 이용하여 스핀밸브 박막을 제작하고 열처리 온도별 자기저항비를 나타낸 것이다. Mo 하지층인 경우 자기저항비는 열처리 전 상온에서 2.86%이었고, 150°C때와 200°C일때 동일하게 2.91%를 나타내었다. 200°C 이후 열처리 온도를 300°C까지 증가시키면 자기저항비는 2.86~2.91%에서 2.16%로 감소하였다. 질소유입량이 1 sccm인 경우의 MoN 하지층의 경우, 자기저항비는 열처리 전 상온에서 5.27%이었고, 150°C때와 200°C 일때는 각각 5.52, 5.56%이며, 그 이후 250°C, 300°C에서는 약간씩 감소하여 5.25, 4.9%의 값을 가짐을 알 수 있다. 그러나 300°C까지 열처리를 하더라도 자기저항비의 감소가 미비하여 스핀밸브구조의 응용가능성을 제시하였다.

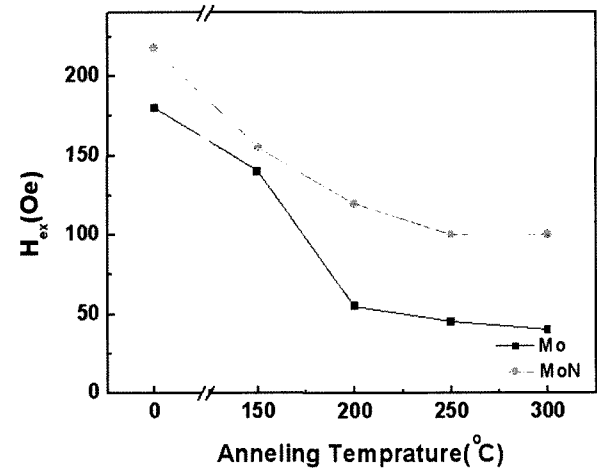


Fig. 7. H_{ex} of spin valve structure of Mo and MoN thin film as a function of annealing temperature.

Fig. 7은 Mo과 MoN 하지층을 이용하여 스핀밸브 박막을 제작하고 열처리 온도별 교환결합력을 나타낸 것이다. Mo 하지층인 경우 교환결합력은 열처리 전 상온에서 180 Oe였고, 150°C일때 140 Oe, 그리고 200°C부터 급격히 줄어 55 Oe를 보였다. 200°C 이후 변화폭이 줄어들긴 했으나, 상온에서의 180 Oe에서 300°C 열처리 후에는 45 Oe의 큰 변화를 나타내었다. MoN이 하지층인 경우 이러한 교환결합력의 감소 경향은 질소유입량의 변화하여도 유사하나 상온에서의 217.5 Oe에서 150°C때 155 Oe로 대폭 감소한 후 300°C까지 100 Oe로 Mo 하지층인 경우보다는 상당히 향상된 결과를 가짐을 확인할 수 있었다. 이는 Si 기판위의 하지층에 질소가 유입됨에 따라 Si기판쪽에서의 절연성이 증가하며 상단의 NiFe층의 성장도 용이하게 해줌으로써 교환결합력에 영향을 미친 것으로 보여진다.

IV. 결 론

Si 기판에서의 스핀 밸브에서 Mo 하지층의 질소 가스의 유량 변화에 따른 특성들을 비교한 결과 MoN 박막증착 시 혼합가스에 질소유입량이 증가함에 따라 증착률은 감소하는 경향을 보였다. Mo 박막의 경우보다 질소가스의 유입량이 1 sccm인 MoN 박막의 경우가 비저항은 $19.3 \mu\Omega\text{-cm}$ 에서 $37.13 \mu\Omega\text{-cm}$ 으로 증가됨을 알 수 있었다. Si기판위에서의 Mo(MoN) 하지층의 두께 변화에 따른 자기저항비와 교환결합력의 변화를 측정하였다. Mo 하지층의 경우 자기저항비는 최소 2.1%에서 최대 3.72%, 교환결합력은 최소 160 Oe에서 최대 232 Oe까지 변화하였다. MoN 하지층 또한 하지층 두께 변화에 따라 자기저항비와 교환결합력의 변화는 소폭이었다. Mo(MoN)의 하지층의 두께에 따른 자기저항비와 교환결합력은 두께에 크게 의존하지 않음을 확인 할 수 있었고 단, Mo에 비해 MoN의 자기저항비가 높게 측정 되는 이유는 절연체가 아닌 Si 기판에 N₂ 가스가 유입됨에 따라 하지층의 비저항 값이 높아져 절연체적 특성을 나타내기 때문이라 보여진다.

Si 기판위의 Mo와 MoN 하지층의 열처리 온도별 자기저항비는 200 °C까지는 상승하다가 200 °C 이후에는 감소하는 유사한 경향을 보였으며 교환결합력에는 다소 차이는 있으나 열처리 온도가 올라감에 따라 Mo의 변화폭이 MoN 보다는 크게 감소하는 경향을 보였다.

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] J. Kim, S. Jo, S. Y. Kim, H. Ko, and C. W. Lee, J. Korean Magn. Soc., **16**(5), 240 (2006).
- [5] Y. B. Choi, J. Kim, S. Jo, and C. W. Lee, J. Korean Magn. Soc., **16**(5), 240 (2005).
- [6] J. Kim, Y. Choi, S. Jo, S. Y. Kim, and C. W. Lee, IEEE Trans. Magnetics, **42**(10), 3267 (2006).
- [7] D. J. Monsma, J. C. Lodder, and B. Dieny, Phys. Rev. Lett., **74**(26), 5269 (1995).
- [8] T. Lin, C. Tsang, R. E. Fontana, and J. K. Howard, IEEE Trans. Magn., **31**(6), 2585 (1995).
- [9] J. K. Spong, V. S. Speriosu, R. E. Fontana, Jr., and M. M. Dovek, IEEE Trans, Magn., **32**(2), 366 (1996).

Dependence of Magnetoresistance on the Underlayer Thickness for Top-type Spin Valve

Hoon Ko, Sang Yoon Kim, Soo In Kim, and Chang Woo Lee*

Dept. of nano & Electronic Physics, Kookmin University, 861-1, Cheongmung-dong, Seongbuk-gu, Seoul 136-720, Korea

Jiwon Kim and Soonchul Jo

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

(Received 17 January 2007, in final from 13 February 2007)

In this paper, the magnetic properties and the annealing behavior of spin valve structures with Mo(MoN) underlayers were studied for various underlayer thickness. The spin valve structure was Si substrate/Mo(MoN)(*t* Å)/NiFe(21 Å)/CoFe(28 Å)/Cu(22 Å)/CoFe(18 Å)/IrMn(65 Å)/Ta(25 Å). Mo and MoN films were deposited on Si substrates and their thermal annealing behavior was analyzed. The deposition rate of the MoN thin film was decreased and the resistivity of the MoN thin films were increased as the N₂ gas flow was increased. The variations of MR ratio and magnetic exchange coupling field of spin valve structure were smaller with MoN underlayers than that with Mo underlayers up to thickness of 51 Å. MR ratio of spin valves with Mo underlayers was 2.86 % at room temperature and increased up to 2.91 % after annealing at 200 °C. Upon annealing at 300 °C, the MR ratio decreased about 2.16 %. The MR ratio of spin valves structure with MoN underlayers for N₂ gas flow 1 sccm was 5.27 % at room temperature and increased up to 5.56 % after annealing at 200 °C. Upon annealing at 300 °C, the MR ratio decreased about 4.9 %.

Keywords : spin valve, underlayer, MoN, MR, *H_{ex}*