

스핀 밸브 Ta 하지층의 질소함유량 변화와 열처리 온도에 따른 자기적 특성

최연봉* · 김지원 · 조순철

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

이창우

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

(2005년 8월 7일 받음, 2005년 8월 16일 최종수정본 받음)

본 연구에서는 스핀밸브 구조에서 하지층으로 많이 사용되고 있는 Ta 층에 질소를 첨가하여 질소량에 따른 자기적 특성과 열처리 결과를 비교 검토하였다. 또한 하지층에 질소를 첨가하여 확산 방지막으로서 역할과 기판과 하지층과의 접착력을 측정하여 비교하였다. 사용된 스핀밸브는 Si(SiO₂)/Ta(TaN)/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/FeMn/Ta 구조이다. Ta 박막에 비해 TaN 박막의 질소량이 증가할수록 증착률은 감소하였고, 비저항과 표면 거칠기는 증가하였다. 고온에서 열처리 후 측정된 XRD 결과를 보면 Si/Ta 박막에서는 규소화합물이 생성된 반면 Si/TaN 박막에서는 규소화합물을 발견할 수 없었다. 자기저항비(MR)와 교환결합자장(H_{ex})은 질소량이 4.0 sccm 이상에서는 감소하였다. 열처리 결과 자기저항비는 하지층이 Ta인 시편과 질소량이 4.0 sccm까지 혼합된 TaN 시편은 200°C까지는 약 0.5% 정도 증가하다가 감소하였다. 기판과 하지층과의 접착력을 측정한 결과 Ta 박막보다 질소량이 8.0 sccm인 TaN 박막인 경우 약 2배 강한 접착력을 보였다. 본 연구 결과에 의하면 하지층 증착 시 아르곤 가스에 3.0 sccm 정도의 질소 가스를 혼합하여 사용하면 자기적 특성에 크게 영향을 주지 않으면서 확산 방지막, 접착력 향상등의 이점을 얻을 수 있으리라 사료된다.

주제어 : 스핀밸브, 하지층, TaN, 확산방지막, 접착력

I. 서 론

거대자기저항 현상은 학문적인 연구뿐 아니라 산업체에서의 여러 분야에서 많은 관심을 가지고 연구되었다[1]. 고밀도 자기기록 매체의 재생헤드 및 자기센서[2-4]로 응용되기 위해서는 높은 자기 저항비와 소자제조 및 작동 시 발생하는 열에 대한 안정성이 요구된다. 또한 하지층이 이웃하는 자성층의 결정성장에 영향을 주어 스핀밸브의 자기저항비 향상에 지대한 영향을 주는 것으로 보고 되었다[5]. 박막의 열적 안정성에 대한 연구[6-8] 뿐만 아니라 자성층과 반강자성층에 의한 높은 교환결합력과 자기저항비를 얻기 위한 연구는 활발히 되었으나 자기 센서로 제조하기 위해 필요한 반도체 공정 과정에 따르는 확산 방지막과 기판과의 접착력에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

본 논문은 스핀밸브 구조에서 하지층[9]으로 많이 사용하고 있는 Ta 층에 질소를 첨가하여 질소량에 따른 MR과 H_{ex} 등 자기적 특성을 검토하였고 기판과 하지층과의 접착력을 측정하였다. 또한 Ta 층에 질소량을 변화시킨 TaN 하지층을 사용한 스핀밸브구조에서 질소량과 온도변화에 대한 자기적 특성 변화와 TaN 박막이 확산 방지막으로서 역할을 할 수 있는지

여부를 알아보기 위하여 열처리를 하였으며 그 결과를 비교하였다.

II. 실험 방법

Si(SiO₂)/Ta(TaN35 Å)/NiFe(100 Å)/CoFe(36 Å)/Cu(22 Å)/CoFe(28 Å)/FeMn(120 Å)/Ta(50 Å) 구조의 스핀밸브 박막을 증착하기 위하여 2인치 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. 각 층을 증착할 때 아르곤 가스 또는 아르곤 가스와 질소 가스의 혼합 가스압력은 6.0 mTorr로 고정하였으며, TaN 층은 약 130.0 sccm의 아르곤 가스량에 질소 가스를 0.5 sccm에서 12.0 sccm까지 변화시킨 혼합 가스를 사용하였다. 또한 열적 안정성을 알아보기 위하여 5 × 10⁻⁴ Torr 이하의 진공에서 170°C부터 270°C까지 1시간 동안 약 2 kOe 자장을 인가하면서 누적 열처리를 하였다. 자기저항비는 4-point probe 방법을, 표면 거칠기는 Atomic force microscope(AFM)을, 박막의 두께는 α-step을 사용하여 측정하였고, 하지층의 질소량 변화와 열처리 후 기판과 하지층과의 확산 여부 및 결정성장을 확인하기 위하여 X-ray

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

diffractometer(XRD)을 사용하였다. 또한 기판과 Ta 또는 TaN 층과의 접착력을 알아보기 위하여 CSEN Scratch tester 를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 질소량에 따른 Ta와 TaN 박막의 증착률을 나타 낸 그림이다. 질소 가스가 함유되지 않은 Ta 박막은 약 105.0 Å/min, 질소량이 1.0 sccm에서는 95.2 Å/min였으며, 질 소량이 증가함에 따라 급격히 감소하다가 3.0 sccm 이상에서 는 84.6 Å/min에서 87.5 Å/min 사이의 값을 보였다.

Fig. 2는 Ta 박막과 5.0 sccm까지 질소 가스 유입량을 바 꾸어 증착한 TaN 박막의 비저항과 표면 거칠기를 측정된 결

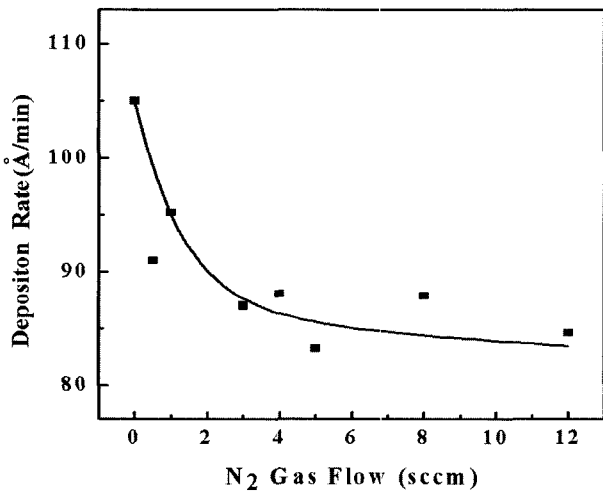


Fig. 1. Deposition rate of Ta and TaN thin films as a function of N₂ gas flow.

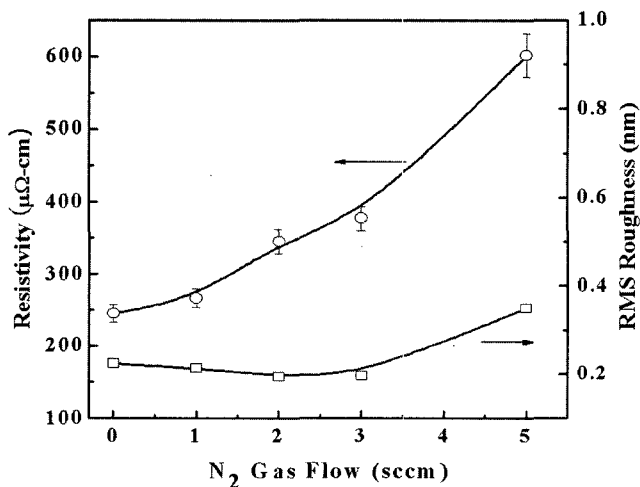


Fig. 2. Resistivity and RMS roughness of Ta and TaN thin films as a function of N₂ gas flow.

과이다. Ta 박막의 비저항은 245.1 μΩ · cm였으며, 질소량이 3.0 sccm일 때 377.0 μΩ · cm, 5.0 sccm일 때 601.5 μΩ · cm 로 급격히 증가하였다. 표면 거칠기 측정 결과 Ta 박막은 2.24 Å였으며, 3.0 sccm까지 2.15 Å를 유지하다가 5.0 sccm에 서 3.5 Å까지 증가하였다.

Fig. 3(a)는 Si/Ta 박막에서 하지층인 Ta과 Si 기판과의 열 처리 경우 확산 여부를 알아보기 위하여 실온, 700°C, 그리고 900°C에서 1시간 동안 열처리 후 측정된 XRD 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 Ta 박막은 700°C부터 규소화합물상 인 TaSi₂가 나타났고 900°C에서 Ta, β-Ta상과 TaSi, TaSi₂, Ta₅Si₃ 등의 규소화합물상이 나타난 것으로 보아 하지층과 기 판과의 사이에 확산이 이루어졌음을 짐작할 수 있었다. 반면 Fig. 3(b)는 질소함유량이 3.0 sccm인 Si/TaN 박막의 측정결 과로써 기판과 하지층과의 확산된 규소화합물상은 전혀 찾아 볼 수 없었고 대부분이 TaN, Ta₂N 등 질화물상들이었다. 그

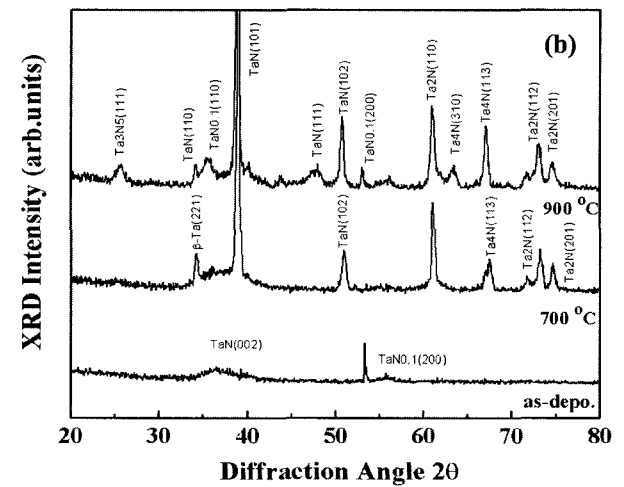
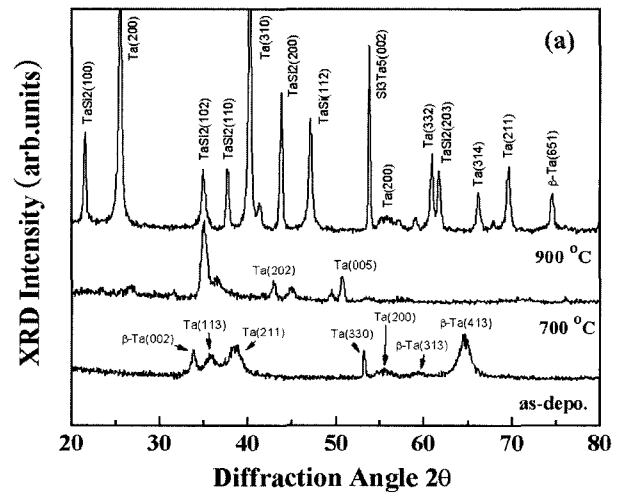


Fig. 3. XRD patterns of Si/Ta(TaN) thin films for various annealing temperature: (a) Si/Ta thin films. (b) Si/TaN (N₂=3.0 sccm).

림에서 TaN_{0.1}은 TaN(BCC)로써 10% N 상이며 순수한 Ta 상 위치에서 약간 치우친 위치에 나타난다. 이 결과를 보면 3.0 sccm의 질소량으로도 하지층과 기관과의 확산을 방지하는 확산 방지막으로서의 역할을 충분히 하고 있음을 확인할 수 있었다.

Fig. 4는 스피밸브구조에서 하지층인 Ta 층을 증착할 때 아르곤 가스에 혼합한 질소 가스량에 따른 자기저항곡선이다. 질소량이 3.0 sccm까지는 자기저항비가 약 6.0%~6.5%를 유지하였으나 4.0 sccm부터 감소하기 시작하였고 그 이상에서는 질소량의 증가에 따라 급속히 감소하여 8.0 sccm 이상에서는 3.6% 정도의 일정한 값을 유지하였다.

Fig. 5는 Ta 층 질소량에 따른 교환자장곡선이다. 자기저항 곡선과 같은 경향을 보였으며 질소량 3.0 sccm까지는 약 150 Oe~208 Oe 정도를 유지하였으나 질소량이 4.0 sccm 이상

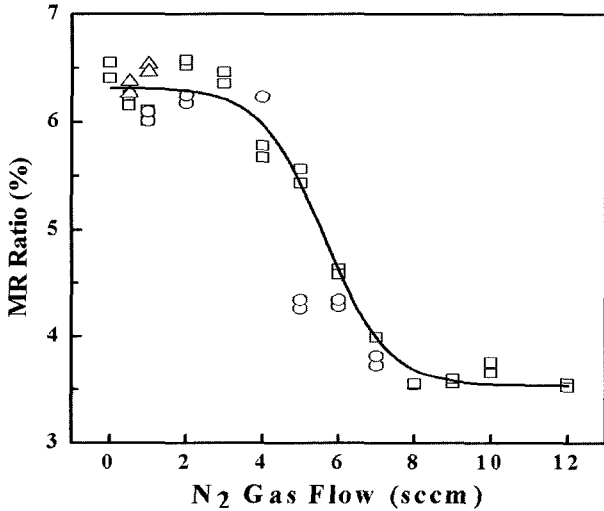


Fig. 4. MR ratio of spin valve structures as a function of N₂ gas flow.

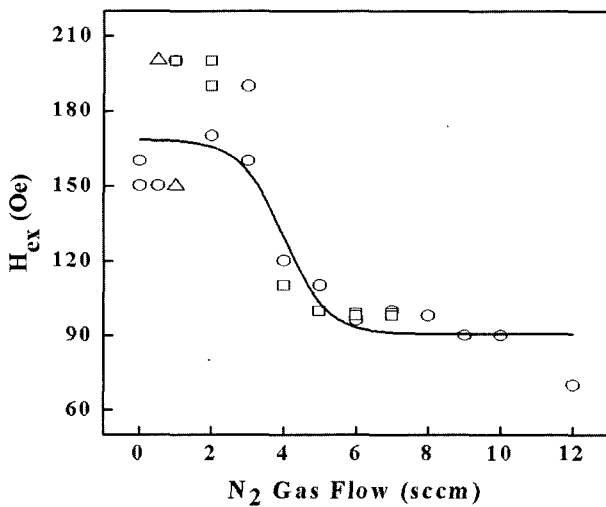


Fig. 5. H_{ex} of spin valve structures as a function of N₂ gas flow.

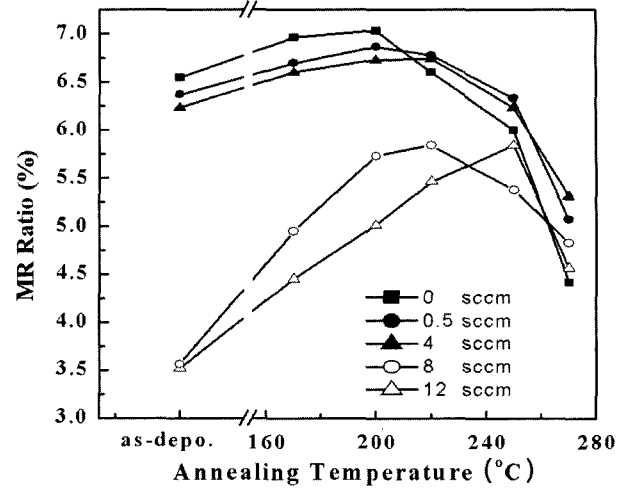


Fig. 6. MR ratio of spin valve structures for various N₂ gas flow as a function of annealing temperature.

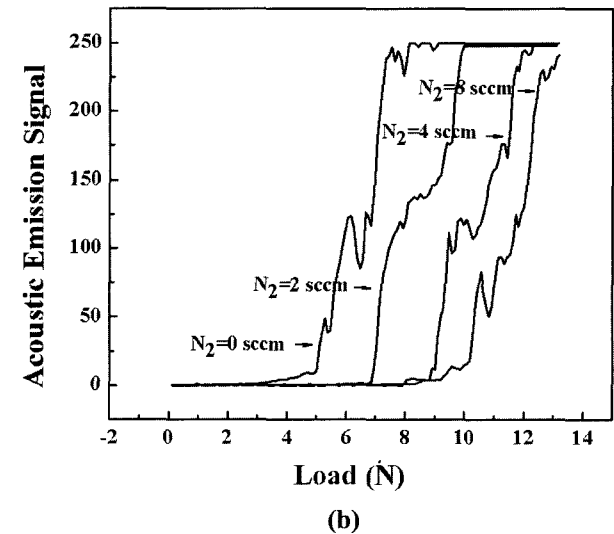
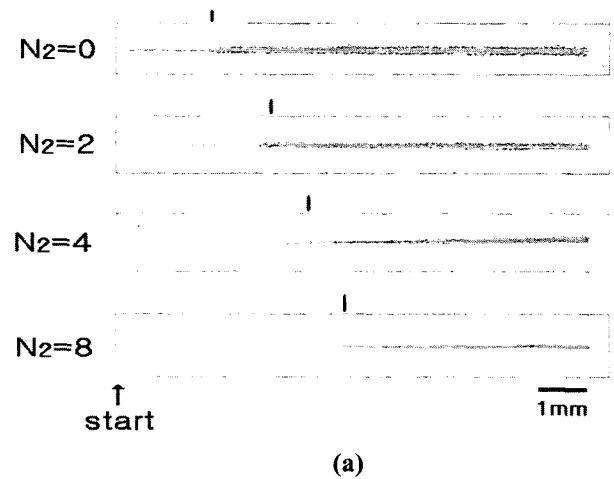


Fig. 7. (a) Scratch test photograph of Ta and TaN thin films for various N₂ gas flow. (b) Acoustic emission loadgraph of Ta and TaN films for various N₂ gas flow.

에서는 급속히 감소하여 약 90 Oe 정도를 값을 유지하였다.

Fig. 6은 열처리 온도 변화에 따른 자기저항비 곡선이다. Ta 박막에서부터 질소량이 12.0 sccm까지 유입된 TaN 박막을 비교해 보면, 열처리를 하기 전 Ta 박막과 질소량이 0.5, 4.0 sccm인 TaN 박막을 하지층으로 사용한 스피ن밸브에서 자기저항비는 6.3 % 이상의 결과를 얻었으나 질소량이 증가하면 자기저항비는 감소하기 시작하여 8.0, 12.0 sccm의 경우 약 3.5 %였다. 그러나 열처리를 했을 때 Ta 박막과 TaN 박막의 경우 모든 시편의 자기저항비는 200°C까지 증가하는 경향을 보였다. Ta 박막과 질소량이 0.5~4.0 sccm까지는 0.5 % 정도 증가하였고, 질소량이 많은 8.0 sccm일 때 2.8 %, 12.0 sccm일 때 1.3 % 증가하였다. 특히, 12.0 sccm일 경우 250°C까지 자기저항비가 계속 증가하였으며 그 이후에 급속히 감소하는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 7(a), (b)는 Ta 박막과 질소량이 2.0, 4.0, 그리고 8.0 sccm인 TaN 박막과 기판과의 접착력을 비교하기 위한 스크래치 테스트 사진과 그래프이다. Ta 박막과 TaN 박막을 비교해 보면 질소량이 증가할수록 박막이 탐침에 의해 굽히기 시작하는 점의 힘의 크기가 증가함을 알 수 있었다. Fig. 7(b)에서 볼 수 있듯이 Ta 박막에서 접착력은 약 5[N]이었으며 질소량이 2.0 sccm인 TaN 박막은 약 7[N], 4.0 sccm에서는 약 9[N]이었고, 8.0 sccm에서는 접착력이 약 10[N]으로 Ta 박막보다 약 2배 정도 강한 것으로 나타났다.

IV. 결 론

스핀밸브에서 Ta 하지층의 질소함유량 변화에 따른 특성들을 비교, 검토한 결과 TaN 박막 증착시 혼합가스에 질소량이 증가할수록 증착률은 감소하였으며 박막의 저항은 크게 증가하였고 표면 거칠기도 서서히 증가하였다.

Si/TaN 박막을 고온에서 1시간 동안 열처리하여 기판과 하지층과의 확산여부를 알아본 결과 질소량이 3.0 sccm으로도 확산 방지막 역할을 충분히 하고 있음을 확인하였다.

자기저항비와 교환결합자장은 질소량이 3.0 sccm까지 6.0 %

이상의 값을 유지하였으나 그 이상에서는 급속히 감소하였으며, 270°C까지 열처리 결과 Ta 박막은 200°C부터 자기저항비가 감소하기 시작하여 270°C에서는 4.5 %까지 감소하였고, 질소량이 4.0 sccm인 경우 270°C에서는 5.3 %까지 감소하였다.

기판과 하지층과의 접착력을 측정한 결과 Ta 층에 질소함유량이 증가할수록 접착력은 유입되는 질소량에 비례하여 커짐을 확인하였다.

위의 몇 가지 결론으로부터 스피ن밸브구조를 자기 센서등에 응용할 경우, 하지층 증착 시 아르곤 가스에 3.0 sccm 정도의 질소 가스를 혼합하여 사용하면 자기적 특성에 크게 영향을 주지 않으면서 확산 방지막, 접착력 향상등의 이점을 얻을 수 있으리라 사료된다.

감사의 글

본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] J. M. Daughton, IEEE Trans. Magn., **28**(5), 2488(1992).
- [2] D. J. Monsma, J. C. Lodder, and B. Dieny, Phys. Rev. Lett., **74**(26), 5269(1995).
- [3] T. Lin, C. Tsang, R. E. Fontana, and J. K. Howard, IEEE Trans. Magn., **31**(6), 2585(1995).
- [4] J. K. Spong, V. S. Speriosn, R. E. Fontana, Jr., and M. M. Dovek, IEEE Trans. Magn., **32**(2), 366(1996).
- [5] K. Hayashi, S. Mori, H. Yamamoto, and J. Fujikata, Jpn. J. Appl. Phys., **36**, L1161(1997).
- [6] R. D. McMichael, W. F. Egelhoff, Jr., and M. M. Dovek, IEEE Trans. Magn., **32**(2), 366(1996).
- [7] O. Redon, G. B. Albuguerque, L. M. Rodrigues, and P. P. Freitas, IEEE Trans. Magn., **34**(2), 562(1998).
- [8] R. D. McMichael, P. J. Chen, and W. F. Egelhoff, Jr., IEEE Trans. Magn., **34**(4), 897(1998).
- [9] J. Fujikata, K. Hayashi, and M. Nakada, J. Appl. Phys., **85**(8), 5021(1999).

Magnetic Properties of Spin Valve Ta Underlayer Depending on N₂ Concentration and Annealing Temperature

Yeonbong Choi*, Jiwon Kim, and Soonchul Jo

School of Electronic Engineering, Soongsil University, 1-1, Sangdo-dong, Dongjak-gu, Seoul 156-743, Korea

Chang-Woo Lee

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

(Received 7 August 2005, in final form 16 August 2005)

In this research, magnetic properties and annealing effects of the spin valve structures were investigated, which have Ta underlayer deposited with Ar and N₂ gas mixture. Also, TaN underlayer as a diffusion barrier and the substrate were investigated. The structure of the spin valve was Si(SiO₂)/Ta(TaN)/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/FeMn/Ta. Deposition rate was decreased and resistivity and roughness of the TaN films were increased as the N₂ gas flow was increased. The XRD results after high temperature annealing showed that Silicides were created in Si/Ta layer, but not in Si/TaN layer. Magnetoresistance ratio (*MR*) and exchange coupling field (*H_{ex}*) were decreased when the N₂ gas flow was increased over 4.0 sccm. The *MR* of the spin valves with Ta and TaN films deposited with up to 4.0 sccm of N₂ gas flow was increased about 0.5 % until the annealing temperature of up to 200°C and then, decreased. TaN film deposited with 8.0 sccm of N₂ gas flow showed twice the adhesion of the Ta film. The above results indicate that with 3.0 sccm of N₂ gas flow during the Ta underlayer deposition, the magnetic properties of the spin valves are maintained, while the underlayer may be used as a diffusion barrier and the adhesion between the Si substrate and the underlayer is increased.

Key words : spin valve, underlayer, TaN, diffusion barrier, adhesion