

자기터널링 트랜지스터 박막의 제작 및 특성 연구

상지대학교 윤태호, 윤문성, 이상석, 황도근

Fabrication and Properties of Magnetic-Tunneling Transistor Films

Sangji University T. H. Yoon*, M. S. Yoon, S. S. Lee, D. G. Hwang,

1. 서 론

스핀전자소자 연구 분야의 가장 큰 관심은 전하와 스핀의 자유도를 동시에 고려하여 메모리 및 논리용 트랜지스터를 구현하려는데 있다. 스핀 분극 된 전자를 자성금속으로부터 상자성 및 절연체를 이용하여 또 다른 자성체 및 반도체, 초전도체에 주입하는 일 (Spin injection)에 관한 연구가 일부 진행되어 왔다. 두 개의 자성 금속 사이에 Au등의 상자성 금속을 끼워넣는 구조로 한쪽의 자성금속을 스핀 소스로 사용하여 상자성 금속에 스핀을 주입하고 다른 쪽의 자성금속으로 주입된 스핀을 검출하는 스핀 스위치 저장소자로서의 양극 스핀 트랜지스터 (bipolar spin transistor)를 많은 연구소에서 제조 연구하였다. 또한 터널링 자기저항(tunneling magnetoresistance: TMR) 소자도 상부, 하부층의 교환결합력을 이용하여, 고감도 성능의 출력 헤드나 MRAM (magnetic Random Access Memory)의 자기 저항 응용 소자로 사용한다. 본 연구에서는 자기터널링 트랜지스터 소자 제작을 위한 IBD (Ion Beam Deposition) 방법으로 증착한 버퍼층 p-Si 위에 [NiFe/Al₂O₃/CoFe] 박막에서 Al₂O₃ 산화층의 산화 정도에 따른 결정성과 I-V 곡선 특성 및 TMR 특성을 조사하였다.

2. 실험방법

Fig. 1은 Spin Injection Diode (SID) 및 Magnetic Tunneling Transistor (MTT) 박막의 형태 [10로 p-Si 위에 [NiFe/Al₂O₃/CoFe] 구조의 단면구조와 평면구조를 도식화 한 것이다. Fig. 1 형태의 다층구조에서 버퍼층은 p-Si를 사용하였다. SID 및 MTT 박막 구조의 시료들은 Corning #7059 glass 위에 이온 빔 증착 시스템을 이용하여 상온에서 제작하였다. 6개의 3인치 타겟이 장착된 UHV 이온 빔 시스템은 기본 진공도가 5.0×10⁻⁹ Torr 이었다. SID 및 MTT 박막에 사용된 Si 타겟은 3인치 p-형을 사용하였다.

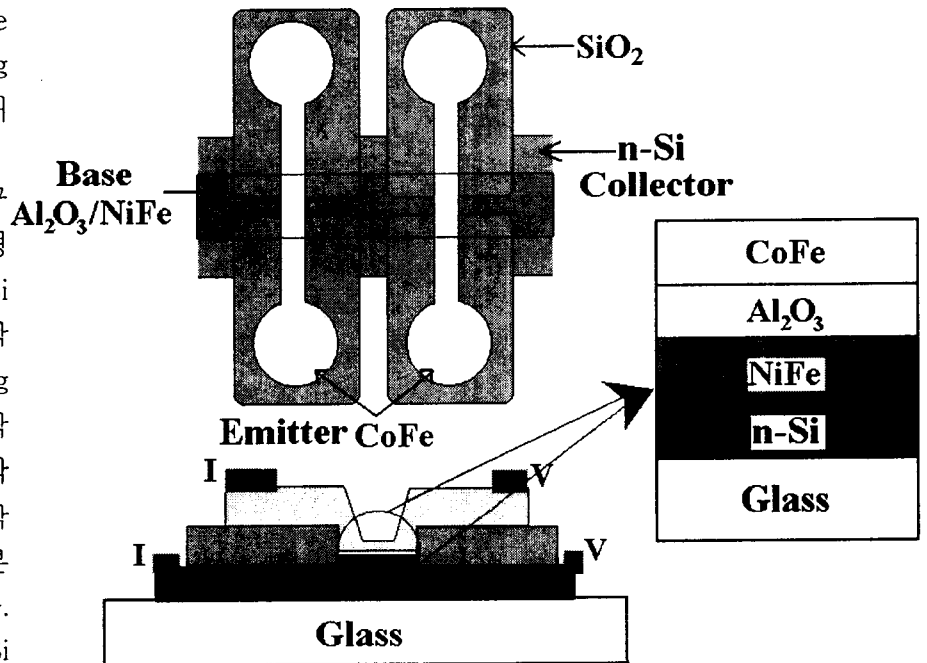


Figure 1.

이온 빔 증착 시 빔전압은 800V, 빔전류는 6.0mA로 하였다. 평균적인 Si, NiFe, Al의 증착율은 0.1~0.3 A/s 이었다. 또한 Al₂O₃ 증착 방법은 Al 증착 후 Main 챔버에서 Load-lock 챔버로 옮겨와서

20 min 동안 300 Torr 산소 분위기에서 자연산화법을 실시하였다. 그 다음 다시 한번 Main 챔버에서 Al 증착 후 Load-lock 챔버에서 20 min 간 자연 산화시켰다. 여기서 사용된 금속 마스크를 이용 교환 할 때는 진공을 파기한 후 공기중 에서 행하였다. 증착된 각각의 SID 및 MTT 박막의 결정성을 알아보기 위하여 XRD θ - 2θ Scan pattern을 알아보았으며, 4단자 전압-전류 측정 시스템을 이용하여 I-V 및 TMR 특성 곡선으로부터 박막의 터널링과 자기저항 특성을 조사하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1에서 도식화 한 다층구조 [NiFe/Al₂O₃/CoFe] 박막에 대한 Al₂O₃층의 산화 조건에 따른 결정 의존성을 관찰하여 얻은 x-선 회절 θ - 2θ 패턴을 조사하였다. 버퍼층 p-Si 위에 증착 된 [NiFe/Al₂O₃/CoFe] 박막의 결정 성장이 잘 이루어진 것을 알 수 있었다. 특히 Al₂O₃ [10 Å+10 Å] 의 세기가 Al₂O₃ [7 Å+7 Å]의 경우보다 더 크게 나타났는데 그 이유는 Al₂O₃ 자연 산화막 형성시 균일하게 이루어지는 현상이므로 Al₂O₃ [7 Å+7 Å] 조건보다 Al₂O₃ [10 Å-10 Å] 의 조건에서 산화막 형성이 잘 된 것을 알 수 있었다. Fig. 2에서는 자연산화 장벽층 Al₂O₃ [10 Å+10 Å]일 때, [NiFe/Al₂O₃/CoFe] 박막에 대한 4단자 전압-전류 곡선 특성을 그래프로 나타내었다. 위 그래프의 특성을 통해 선형적인 특성이 아닌 접합 저항이 25 k Ω -250 k Ω 비선형적 곡선을 통해 터널형 특성을 잘 나타내고 있음을 알 수 있다. Fig. 3에서는 터널링 자기저항 곡선 특성을 보여준다. 여기서 TMR은 13.3% 이었다. Fig. 1에서 표시한 MTT를 구성하는 이미터 CoFe층보다 산화 장벽층 Al₂O₃층을 사이에 두고 매우 얇은 베이스 NiFe층 그리고 콜렉터 n-Si층로 볼 때, 이미터에서 베이스로 주입된 스핀전류는 더 강하게 스핀 필터링이 될 수 있다[1]. 따라서 콜렉터 전류는 이미터에 관한 베이스의 자기모멘트의 자화 방향에 크게 의존함을 예상할 수 있다. 콜렉터 이러한 자기터널링 특성을 보여준 MTT 구조에서 상온에서 자기전류 (magnetocurrent)에 대한 이미터/베이스 바이어스 의존성을 조사였다.

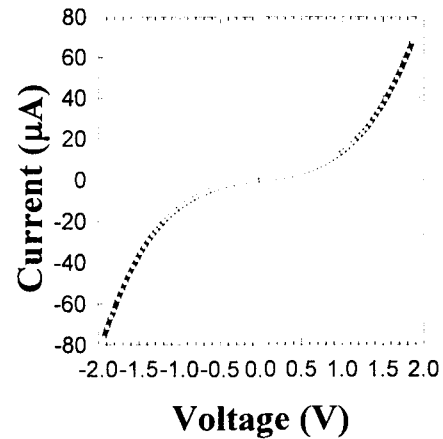


Figure 2.

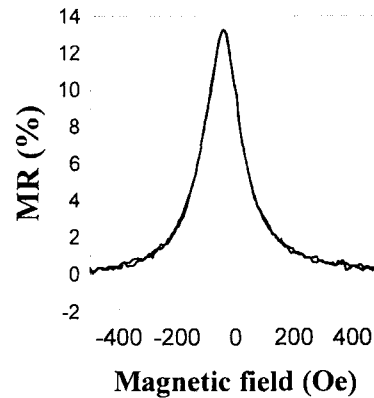


Figure 3.

[1] "Room temperature operation of a high output current magnetic tunnel transistor", S. van Dijken et al, Appl. Phys. Lett, **80**, 3364 (2002).