

비정질 Si 박막을 이용한 높은 인가전압 차단용 자기터널링 접합소자

상지대학교 이진용*, 김보경, 김순섭, 함상희, 유호진, 이상석, 황도근

Magneto-tunneling junction device for blocking of high bias voltage using amorphous Si films

Sang-Ji University J.Y.Lee*, B.K.Kim, S.S.Kim, S.H.Ham, H.J.Yoo, S.S.Lee, and D.G.Hwang

1. 서 론

터널링자기저항 (tunneling magnetoresistance; TMR) 소자 분야의 가장 큰 관심은 1.5 V 이상의 높은 인가전압에도 TMR 특성이 감쇄하지 않은 안정된 특성을 갖는 메모리 및 자기터널링 트랜지스터를 구현하려는데 있다. 인가전압에 크게 의존하는 TMR 소자의 특성과 비교하여 거대자기저항/스핀밸브 (GMR/SV)형 자기저항 판독헤드로서 실제 응용에서도 해결해야할 문제임에 틀림이 없다. 본 연구는 유리 기판 위에 제작된 TMR 구조 위에 비정질 Si 박막과 Al_2O_3 터널링 장벽을 적층구조를 이룬 높은 인가전압 차단용 자기터널링 접합 소자를 개발하여 그 특성을 소개하였다.

2. 실험방법

Fig. 1(a)는 유리 기판 위에 Ta(50Å)/NiFe(120Å)/FeMn(100Å)/NiFe(40Å)/CoFe(30Å)/ Al_2O_3 (20Å)/CoFe(30Å)/NiFe(170Å)인 다층구조의 TMR 접합 박막을 금속 마스크를 이용하여 제작한 후 비정질 n-Si 과 TMR 소자의 top층 사이에 Al_2O_3 (20Å) 장벽층을 증착한 평면구조를 도식화 한 것이다. 박막 제조는 이온빔 증착 (ion beam deposition, IBD) 시스템을 이용하여 상온에서 증착하였고, 6개의 3인치 타겟이 장착된 UHV-IBD 시스템은 기본 진공도가 5.0×10^{-9} Torr 이었다. IBD의 빔 전압은 800 V, 빔 전류는 6.0 mA로 하였다. Ta, Si, NiFe, CoFe, Al의 평균 증착율은 0.1~0.3 Å/s 이었다. Al_2O_3 제작 방법은 Al을 20 Å 정도 증착 한 후, IBD 메인 챔버에서 전자사이클로트론 공명 (electron cyclotron resonance; ECR) 챔버로 옮겨와서 7 min 30 s 동안 1 mTorr 분위기에서 산소 플라즈마 처리하였다. 특히 Si 박막 증착은 3인치 n-형 Si 타겟을 사용하였다. Fig. 1(b)는 금속 마스크에 의한 200 μm 선폭을 갖고 6개의 전극을 형성한 실제의 접합소자를 찍은 사진이다. 중앙에 n-Si박막의 100 Å-두

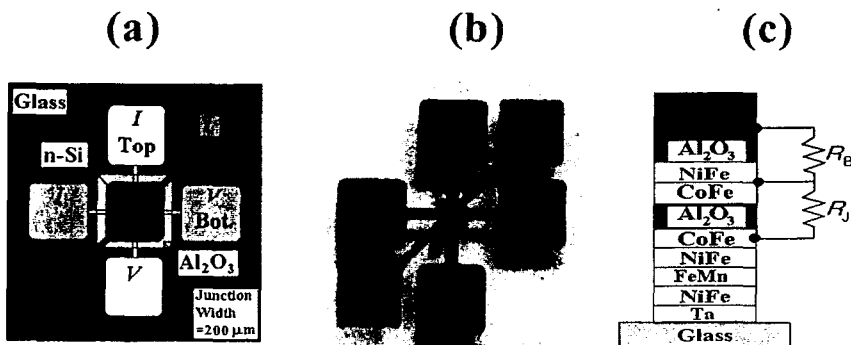


Fig. 1. (a) Schematic MTJ pattern, (b) optical image of real pattern, and (c) structure of MTJ with two insulating barriers;

R_b (blocking resistance)=2 M Ω , R_j (junction resistance)=20 k Ω .

께에 의한 모습이 보인다. 대각선 형태의 전극용 Al(100 Å) 박막은 비정질 n-Si 박막과 쇼트키(Schottky) 장벽을 갖지 않는다고 보았다. Fig. 1(c)는 전체의 다층구조를 도시화하였고 TMR 접합저항(~ 10 k Ω 정도)과 top 층과 Si 박막 사이의 차단 (blocking) 터널저항(~ 1 M Ω 정도)을 나타냈으며 실제 TMR 측정시는 bottom층(Ta/NiFe/FeMn/NiFe/CoFe) 과 Al 전극층에 인가 전압에 의한 전

류단자를 택하였고 bottom층과 top층 단자에 전압을 측정하여 터널자기저항의 특성을 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 1(c)에 도식화 한 다층구조 TMR 박막에 대한 자기터널링 특성을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)는 비선형 전류-전압 (I-V) 특성곡선과 인가전압 50 mV에서 얻은 18%의 전형적인 TMR 곡선을 보여 주었다. I-V 특성곡선을 외부자장 10 Oe에서 자화벡터가 반편형일 때와 1000 Oe에서 자화벡터가 편형일 때와 비교하였으나 분간할 수 없었다. 하지만 인가전압에 대한 터널링 접합저항 의존성은 Fig. 2(b)처럼 확연하게 구별되었다. 이로부터 얻은 TMR의 인가전압에 대한 의존성을 I-V 곡선 측정시 전류 방향을 달리하여 순방향과 역방향을 구별하였다. 인가전압이 0.5 V일 때 TMR의 값은 최대값에 1/3정도 줄어든 약 5%이었다.

Fig. 3(a)는 top층과 Si층간의 Al_2O_3 장벽층을 통한 I-V 특성곡선이다. 인가된 전압

의 방향에 따라 히스테리시스(hysteresis) 모양과 쇼트키 장벽의 형성에 의한 터널특성이 뚜렷함을 보여 준다. 이것은 터널링 트랜지스터(magneto-tunneling transistor; MTT)로 전환이 가능하다. 이에 대한 적용과 실험결과는 추후에 논할 것이다. Top층과 비정질 Si층간의 터널링 이용하여 구별된 전압 분배

(voltage divider)에 의한 (Fig. 1(c)에 도시한 저항회로를 참조: 인가전압이 높아지더라도 TMR 접합에는 전압이 분배되어 낮은 전압이 인가됨을 쉽게 이해할 수 있다.) blocking TMR 특성을 조사하였다. Fig. 3(b)처럼 1.5 V까지 18%이상의 TMR을 유지하다가 2.5 V 이상까지도 큰 감쇠함이 없이 15%의 TMR 값을 보이고 있어서 top형 비정질 Si 박막을 적용한 획기적인 신기능성 TMR 접합소자로 개발이 가능할 것이 기대된다.

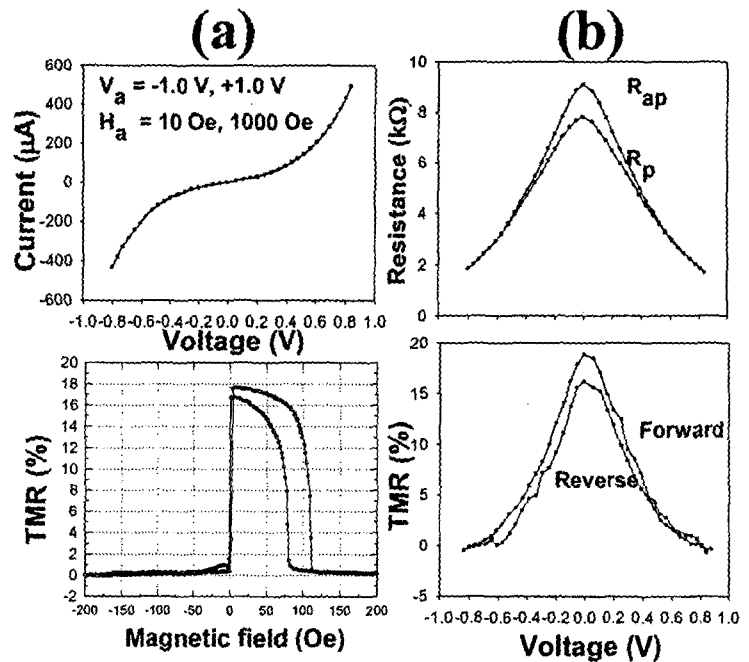


Fig. 2. (a) I-V characteristics and TMR, (b) Bias voltage dependence of resistance and TMR

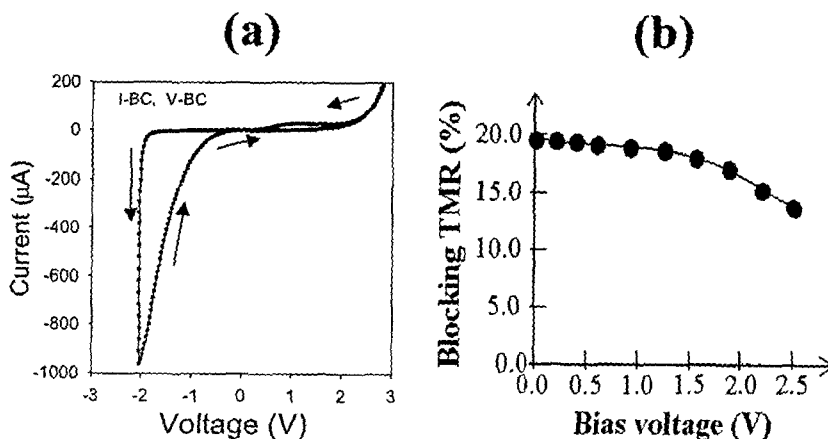


Fig. 3. (a) I-V curves between top layer and amorphous n-Si films, (b) Bias voltage dependence of blocking TMR