

Spin valve를 이용한 Double Barrier Tunneling Transistor의 특성에 대한 연구

이 유중¹, 조 영준¹, 홍 진기¹, 이 금원¹, 이 제형², 주 성중², 신 경호²

¹ 고려대학교 응용물리학과

² 한국과학기술연구원 나노소자연구센터

1. 서론

최근 전자의 spin을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구 중에 많은 주목받는 분야로 반도체 기반 소자들을 대체 할 수 있는 spin 소자와 그 기반이 되고 있는 spin injection과 detection 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 기본적인 transistor의 기능을 수행 할 수 있는 형태의 시료들 까지 발표되고 있다.

최근 발표되었던 spin transistor는 대부분 semiconductor를 기반으로 전자의 spin을 이용하는 형태였다. 이러한 구조의 spin transistor는 collector에 semiconductor를 사용함으로써 base와 collector의 계면에 생기는 schottky barrier를 이용하기 때문에 emitter와 base사이에 schottky barrier height보다 높은 전압을 필요로 하며, 또한 collector가 반도체이기 때문에 collector current가 그렇게 크지 않다는 것이 소자화에 문제점으로 지적되고 있다.[1~2],[3~4]

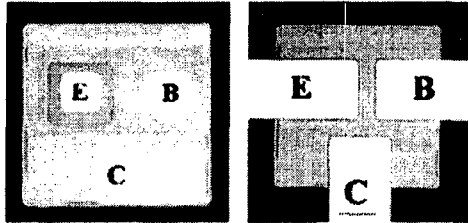
이미 발표한 선행 실험에서 우리는 시료를 구성하는 multi layer가 모두 금속으로 이루어진 FM/Insulator/FM/Insulator/FM의 구조의 double barrier tunneling transistor(이하 DBTT)를 이용하여 base와 collector사이에 인가되는 전압을 원하는 대로 조절하는 부분과 collector의 전류 이득을 보다 크게 만드는 부분의 문제를 해결 할 수 있었다. 그리고 DBTT의 소자로써의 기능을 높이고, collector측 전류의 확실한 spin의존성을 확인하기 위해 emitter층의 multi layer를 비 자성금속의 single layer로 대체하여 보다 단순한 형태의 DBTT를 제작하였으나, collector의 전류 이득은 커진 반면에 magneto-current의 양이 감소하는 결과를 확인하였으며 이러한 결과로는 보다 확실한 소자로써의 기능과 collector측 전류의 spin의존성을 확인하는 것이 어렵기 때문에 base를 pseudo spin valve 구조로 증착하여 그 특성을 분석하였다. 따라서 본 실험에서는 기존의 DBTT와 emitter층을 비 자성 금속으로 대체한 DBTT, 그리고 emitter 비 자성금속/base pseudo spin valve를 이용한 구조의 세 가지 DBTT에 대한 특성을 비교 분석하는 것에 목적이 있다.

2. 실험방법

시료를 구성하는 박막의 증착은 magnetron sputtering machine을 사용했으며, main chamber에서는 박막을 증착하고 load-lock chamber에서 Al을 산화시키는 구조로 이루어져 모든 증착과정이 chamber 안에서 in-situ로 이루어 졌다. 시료 증착시의 진공도는 main chamber와 산화 chamber 모두 1.0×10^{-7} Torr이하를 유지 하였으며, 증착과 lithography를 포함한 모든 공정이 class 100이하의 clean room에서 이루어 졌다. 시료의 구조는 Ta(50 Å)/NiFe(60 Å)/IrMn(80 Å)/CoFe(20 Å)/Al₂O₃(16 Å)/CoFe(30 Å)/Cu(35 Å)/NiFe(80 Å)/Al₂O₃(16 Å)/Cu(150 Å)/Ta(100 Å)의 구조로 이루어 졌으며, SiO₂기판을 substrate로 사용하여 증착을 하였다. 박막의 증착 압력은 2mTorr~3mTorr이었으며, Al의 산화는 20mTorr의 산소 분위기에서 4인치 sputtering gun의 DC150W의 power로 20초 동안 강제 산화시키는 방법을 이용하였다. Al을 산화시키는 동안에는 산화 압력을 맞추기 위하여 Ar gas로 미리 압력을 맞추어 놓은 다음 산소 분위기를 만들어 주는 방법을 사용하여 자연산화에 의한 Al 산화막의 불균일한 형성 요소를 최소화 하였다.

모든 증착이 완료된 다음에는 1.25cm×1.25cm 크기의 substrate에서 실제 active region으로 작용 할 junction과 측정을 위한 단자를 만들기 위해 photo-lithography공정을 실시하였다. 먼저 60um×60um크기의 증착 부분을 남기고 나머지 부분을 모두 ion beam etching(이하IBE)으로 식각하였으며, 남아있는 60um×60um크기의 증착면에 20um×20um의 emitter를 남기고 Al 산화막 사이에 위치한 NiFe까지 Ion Beam Etching으로 식각하였다. 다음으로 base층의 제작에는 30um×50um의 emitter를 포함하는

면적을 남겨둔 채 마지막 Al산화막의 바로 아랫부분에 위치한 CoFe까지 식각을 하였다. 이렇게 해서 만들어진 emitter, base, collector는 아래 보이는 그림과 같은 모양의 junction이 되며 각각의 junction에 Al을 증착하여 단자층이 만들어지게 된다. 이러한 시료의 증착 순서는 이 전의 DBTT 증착순서와는 반대의 순서를 가지게 되는데, 이는 Al산화막이 자성층인 CoFe에서 형성 되었을 때 보다 우수한 특성을 나타내기 때문에 첫 번째 산화막이 Cu위에서 형성되는 것을 피하기 위해서이다.



시료의 측정은 volt-source와 current-meter를 동시에 사용할 수 있는 Keithley 236을 emitter와 base에 연결하였으며, base와 collector에는 보다 정확하게 0 volt(zero bias)를 인가하며 I_c 를 측정하기 위해 별도의 volt-source와 nano current meter를 연결하여 외부 자기장을 인가하며 측정 하였다. 또한 측정 시 시료의 구조가 transistor임을 감안하여 bipolar junction transistor의 base 공통방법을 적용하여 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰과 결론

- emitter에 자성층과 비자성층을 증착하여 만든 시료의 측정 data는 다음과 같다.

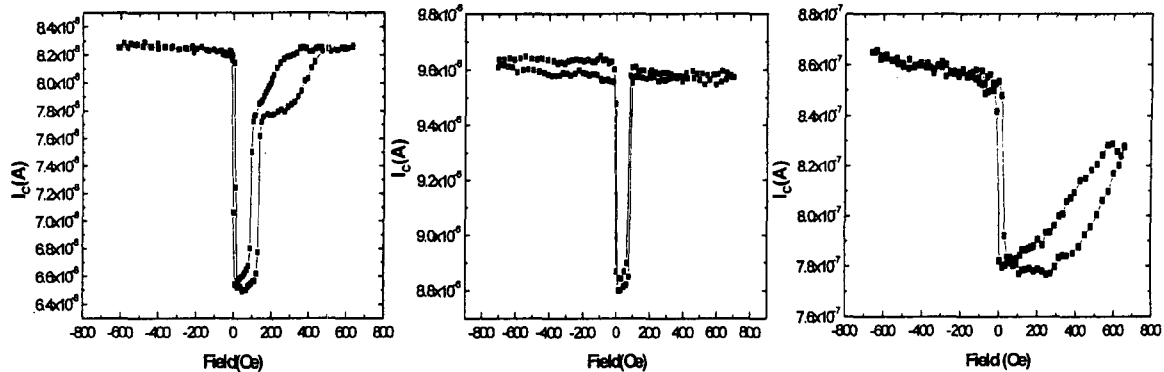


fig1. emitter가 AFM/FM구조인 시료 fig2. emitter Cu150Å, base Py80Å인 시료 fig3. emitter Cu150Å, base Spin valve인 시료

DBTT의 구조가 각각 Ta50Å/NiFe60Å/IrMn80Å/CoFe40Å/ AlO_x 16Å/NiFe100/ AlO_x 16Å/CoFe40Å/NiFe60Å/IrMn80Å/Ta100Å인 시료, Ta50Å/Cu150Å/ AlO_x 16Å/NiFe80Å/ AlO_x 16Å/CoFe40Å/NiFe60Å/IrMn80Å/Ta100Å인 시료, Ta(50Å)/NiFe(60Å)/IrMn(80Å)/CoFe(20Å)/ Al_2O_3 (16Å)/CoFe(30Å)/Cu(35Å)/NiFe(80Å)/ Al_2O_3 (16Å)/Cu(150Å)/Ta(100Å)인 시료를 $V_{EB} -1V$, $V_{BC} 0V$ 인가한 상태에서 collector쪽에 흐르는 전류(I_c)를 측정한 data이다. 각 data에서 collector쪽으로 흐르는 전류의 양은 fig1. 시료에서 약 80nA, fig2. 시료에서 9.6uA, fig3. 시료에서 약 860nA를 보이고 있다. fig3. 시료의 exchange bias가 다른 시료들에 비해 큰 것은 실험방법에서 언급한대로 시료의 증착순서를 바꾸어 제작했기 때문이다. 보다 균일한 Al산화막의 제작을 위해 collector부터 증착을 했기 때문에 마지막에 AFM구조를 갖는 다른 시료들 보다 큰 exchange bias를 보이고 있다. collector쪽으로 흐르는 전류의 양을 비교해보면 fig3. 시료가 fig2. 시료에 비해서 더욱 spin filtering을 확실히 해주는 것을 확인할 수 있다. 반면에 MC값을 비교해 보면, fig1. 시료가 약 30%, fig2. 시료가 약 9.7%정도 이며, fig3. 시료의 경우에는 11%정도로 비 자성층 emitter의 시료에 비해서 조금 더 높은 값을 보이고 있다. 이번 실험의 예상되는 결과로 자성층 emitter시료보다 소자화에 유리한 구조와 비 자성층 emitter시료의 낮은 MC값을 보완해주는 data라고 할 수 있지만 실제로 기대했던 만큼의 MC값의 증가는 확인할 수 없었다. 가장 큰 이유로는 base에 증착된 spin valve가 DBTT구조에서는 크게 작용하지 못했기 때문으로 생각 할 수 있다. 단일 구조의 spin valve보다 multi layer의 중간에 위치한 spin valve가 제대로 성장하지 못 했기 때문이다. 그러나 비 자성층 emitter시료보다 collector측의 전류가 줄어드는 것에 비해서 MC값이 증가한 것은 collector측의 전류가 spin의존성을 갖는 다는 것으로 해석 할 수 있으며, 이는 이러한 구조의 device가 실제 소자로써 사용 될 여지가 있다는 것을 뒷받침 해주는 결과라고 판단된다.

4. 참고문헌

- [1] Sebastiaan van Dijken, Xin Jiang, and Stuart S. P. Parkin, PRB 66, 094417, (2002)
- [2] Sebastiaan van Dijken, Xin Jiang, and Stuart S. P. Parkin, APL 80, 3364, (2002)
- [3] D. J. Monsma et al, Phys. Rev. Lett. 74, 5260 (1995)
- [4] D. J. Monsma, R. Vlutters, J. C. Lodder Science 281 407 (1998)