

고려대학교

이 유중, 조 영준, 홍 진기, 이 공원

한국과학기술연구원

이 제형, 주 성중, 신 경호

### 1. 서론

지금까지 연구되어온 spintronics의 가장 핵심적인 분야는 전자의 spin injection과 spin detection에 관련된 연구이다. 전자의 spin 특성을 보다 정확히 이해하고 실제 소자화에 적용하기 위해 위의 두 가지 사항에 대하여 여러 방면에서 연구가 진행되고 있으며, 특히 spintronics를 실제 소자화에 접목하기 위한 여러 가지 형태의 spin device에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

이러한 spintronics의 가장 주목받는 한 분야로 지금까지의 반도체 기반 소자들을 대체 할 수 있는 spin transistor에 대한 연구가 진행되고 있으며, 기본적인 transistor의 기능을 수행 할 수 있는 형태의 시료들이 발표되고 있다.

현재까지 발표되었던 spin transistor는 semiconductor를 기반으로 전자의 spin을 이용하는 형태였으나 이러한 구조의 spin transistor는 collector에 반도체를 사용하여 base와 collector의 계면에 생기는 schottky barrier를 이용하기 때문에 emitter와 base사이에 schottky barrier height보다 높은 전압을 인가하여야 만이 collector로 전류가 흐르게 되고, collector가 반도체이기 때문에 collector current가 그렇게 크지 않다는 문제점이 있다.[1~2],[3~4]

반면에 본 실험실에서 지금까지 연구해온 double barrier tunneling transistor(이하 DBTT)의 경우 시료를 구성하는 multi layer가 모두 금속으로 이루어진 FM/Insulator/FM/Insulator/FM의 구조를 가지기 때문에 base와 collector사이에 인가되는 전압을 원하는 대로 조절하는 것이 가능하며, 또한 collector의 전류 이득이 보다 높기 때문에 실제 소자화에 쓰일 수 있는 가능성이 더욱 크다고 할 수 있다. 그러나 emitter와 base, collector에 모두 위치하는 자성금속과 두개의 tunnel barrier를 가져야만 하는 DBTT의 복잡한 구조로 인하여 실제 소자화에 응용하는데 있어 문제를 발생 할 수 있는 소지가 큰 것이 단점이 될 수 있다.

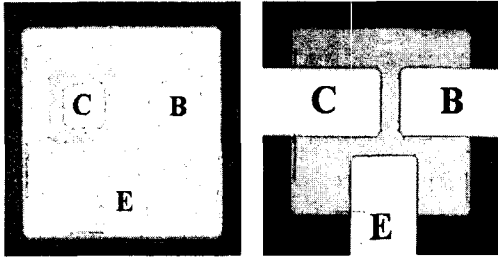
이번 실험에서는 이러한 DBTT의 단점을 보완하고자 emitter층의 multi layer를 비 자성금속의 single layer로 대체하여 보다 단순한 형태의 DBTT를 제작하였으며, 이러한 두 가지 시료의 특성을 분석하여 실제 소자화에 보다 큰 기여 할 수 있는지 확인하는 것에 그 목적이 있다.

### 2. 실험방법

시료를 증착하는데 사용한 장비는 magnetron sputtering machine이었으며, main chamber에서는 박막을 증착하고 load-lock chamber에서 Al을 산화시키는 구조로 이루어져 모든 증착과정이 chamber안에서 in-situ로 이루어 졌다. 시료증착시의 진공도는 main chamber와 산화 chamber 모두  $1.0 \times 10^{-7}$  Torr 이하를 유지 하였으며, 증착과 lithography를 포함한 모든 공정이 class 100이하의 clean room에서 이루어 졌다. 시료의 구조는 Ta50Å/Cu150Å/AlO<sub>x</sub>16Å/NiFe80Å(120Å)/AlO<sub>x</sub>16Å/CoFe40Å/NiFe60Å/IrMn80Å/Ta100Å의 구조로 이루어 졌으며, SiO<sub>2</sub>기판을 substrate로 사용하여 증착을 하였다. 박막의 증착 압력은 2mTorr~3mTorr이었으며, Al의 산화는 20mTorr의 산소 분위기에서 4인치 sputtering gun의 DC150W의 power로 20초동안 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 collector를 남기고 2개의 위치한 Al 산화막 사이에 위치한 NiFe까지 IBE로 식각하였다. 다음으로 base층의 제작에는 30um×50um의 collector를 포함하는

면적을 남겨둔 채 마지막 Al산화막의 바로 아랫부분에 위치한 CoFe까지 식각을 하였다. 이렇게 해서 만들어진 collector, base, emitter는 아래 보이는 그림과 같은 모양의 junction이 되며 각각의 junction에 Al을 증착하여 단자층이 만들어지게 된다.



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.

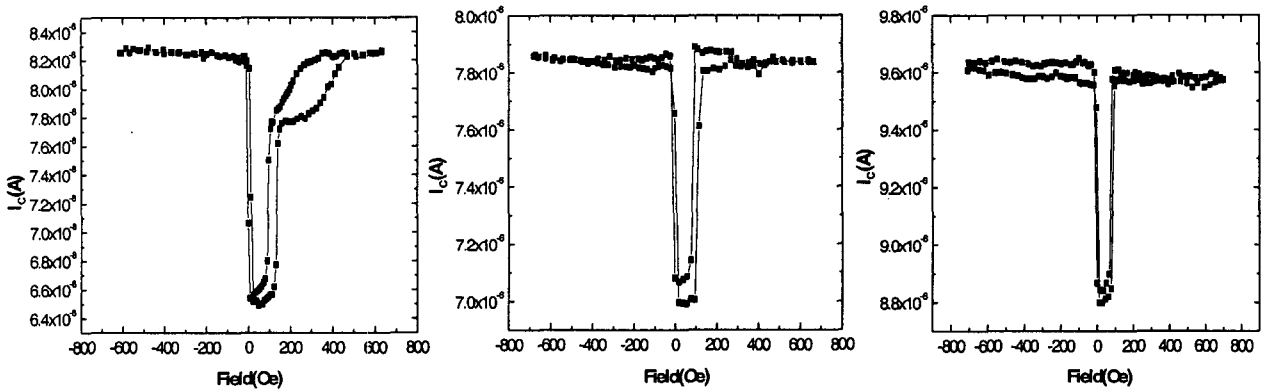


fig1. emitter가 AFM/FM구조인 시료    fig2. emitter Cu150A, base Py120A인 시료    fig3. emitter Cu150A, base Py80A인 시료

DBTT의 구조가 Ta50Å/NiFe60Å/IrMn80Å/CoFe40Å/AlO<sub>x</sub>16Å/NiFe100Å/AlO<sub>x</sub>16Å/CoFe40Å/NiFe60Å/IrMn80Å/Ta100Å의 구조를 가진 시료와 Ta50Å/Cu150Å/AlO<sub>x</sub>16Å/NiFe80Å(120Å)/AlO<sub>x</sub>16Å/CoFe40Å/NiFe60Å/IrMn80Å/Ta100Å의 구조를 가진 시료에  $V_{EB}$ 를 -1V,  $V_{BC}$ 를 0V 인가한 상태에서 collector쪽에 흐르는 전류( $I_c$ )를 측정한 data이다. 비교해보면 collector쪽으로 흐르는 전류의 양은 Cu를 emitter로 사용한 시료가 각각 약 7-7.8uA, 8.8-9.6uA 정도의 값을 갖는 것에 비해 자성층을 emitter로 사용한 시료는 70-80nA 정도로 비교적 큰 차이를 보이고 있다. 그러나 실제 소자화에 보다 큰 영향을 줄 수 있는 MC값의 경우에는 Cu emitter를 사용한 시료가 11%정도이며, 자성층 emitter의 시료가 30%정도로 큰 차이를 보이고 있다. DBTT의 경우  $V_{BC}$ 를 마음대로 조절하는 것이 가능하기 때문에  $I_c$ 값을 0에 가깝게 조절하여 1000%정도의 MC를 갖게 하는 것도 가능하지만, collector쪽의 tunnel barrier를 통과하는 전자들이 hot-electron인 상태에서 주입되어야 collector쪽의 전류가 spin의 의존성을 갖게 되기 때문에  $V_{BC}$ 를 0V 인가한 상태에서 측정을 실시하였으며 이러한 상태에서는 자성층을 emitter로 사용한 시료와 Cu를 emitter로 사용한 시료 모두 소자화 하는데 있어 입장일단이 있는 것으로 보여진다. emitter에 비 자성층을 사용하게 되면 자성층을 사용한 시료에 비해서 tunnelling되는 전자들의 polalization이 작기 때문에 마지막 collector까지 이동하는 전자의 polalization 또한 상대적으로 작을 수밖에 없으며, 이것이 MC가 줄어드는데 큰 영향을 미칠 것이다. 그러나  $I_c$ 값의 경우에는 emitter에서 보다 많은 전류가 이동하게 되기 때문에 자성층을 사용한 시료보다 수백 배 정도의 큰 값을 가지게 된다. 시료의 구조를 단순화 하면서 보다 높은  $I_c$ 의 전류 이득과 MC를 관측하는 것이 이번 실험의 목표였으나, 상대적으로 polalization이 작은 비 자성체를 emitter로 사용하는 것이 MC를 낮게 하는 원이 되었고 이러한 결과는 실제 소자화에는 부적합한 성질로 작용하기 때문에 DBTT의 실질적인 소자화에 기여하기는 어려울 것으로 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)