

비 자성층을 사용한 Double Barrier Tunneling Transistor의 특성과 금(Au)으로의 스핀 주입

고려대학교 응용물리학과
한국과학기술연구원(KIST)
인하대학교
서울대학교

이유중*, 주성중, 조영준, 김희성, 홍진기, 이궁원,
박왕현, 신경호
이병찬
김태석

지금까지 연구되어온 spintronics의 가장 핵심적인 분야는 전자의 spin injection과 spin detection에 관련된 연구이다. 본 실험실에서 지금까지 연구해온 double barrier tunneling transistor(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. 본 연구에서는 Permalloy(Py)를 이용한 금으로의 스핀 주입과 개선된 DBTT 소자에 대하여 논하고자 한다.

본 연구에서는 터널링 배리어를 사용하지 않는 permalloy(Py)/gold(Au) 계를 이용하여, 스핀 주입 신호를 관찰하였다. 특히, Au로의 스핀 입은 크기가 수 십 마이크로 이상의 비교적 큰 계에서 실험되어 수 십 $\mu\Omega$ 의 작은 신호를 얻은 바 있으나[1], 마이크로 미터 이하의 mesoscopic system에서는 아직 보고 되지 않는다. 본 연구에서는 100nm 선폭 및 간격의 Py/Au 스핀 벨브 구조를 제작하여, 기존의 Au에서 얻은 것보다 큰 스핀 주입 신호를 관측하였다.

그림1에서 보이듯이 non-local 측정방법으로 전류를 흘려주고 전압의 변화를 측정하여 스핀 주입을 확인하였다. 측정된, 신호의 크기는 $\Delta R=0.3m\Omega$ 이었고, 이는 기존의 Au 기반 스핀 벨브[1] 신호 보다 약 100배 큰 값이다. 신호의 크기를 좌우하는 핵심 요소는 SEM 사진(그림1.(d))에서 보이듯이 Au 및 Py의 증착과 lift-off 과정에서 생긴 "wing" 때문이다. "wing"은 contact resistance를 증가시키고 spin current의 흐름을 방해한다. 증착과 lift-off 과정을 개선한다면 큰 스핀 주입 신호를 볼 수 있을 것으로 예상된다.

한편, 비자성층 Emitter가 있는 DBTT를 제작하여 자성층 Emitter를 사용한 기존의 DBTT와 비교하였다. Base의 자성층에서 스핀에 따른 spin flip length가 달라 Base를 통과하고 collector에 도착한 전자는 filtering 되었음을 확인하였다. 자성층을 Emitter로 사용한 DBTT의 경우와 마찬가지로 비자성층을 Emitter로 사용하였을 경우에도 1V의 인가전압에 대해 기존 MTJ 보다 월등히 높은 MC 효과를 얻었고, 이상의 결과를 종합하여 Double barrier tunneling 구조는 hot electron을 주사하는 것임이 확인하였다. 본 연구로부터 Double barrier 구조가 low energy hot electron 주입 기구로 탁월하다는 것이 확인되었고, 향후 이 구조를 InGaAs 2DEG에 사용하여 효율이 높은 스핀 injection을 시도할 예정이다.

참고 문헌

[1] Mark Johnson, Phys. Rev. Lett. **70**, 2142 (1993); J. Appl. Phys. **75**, 6714(1994)

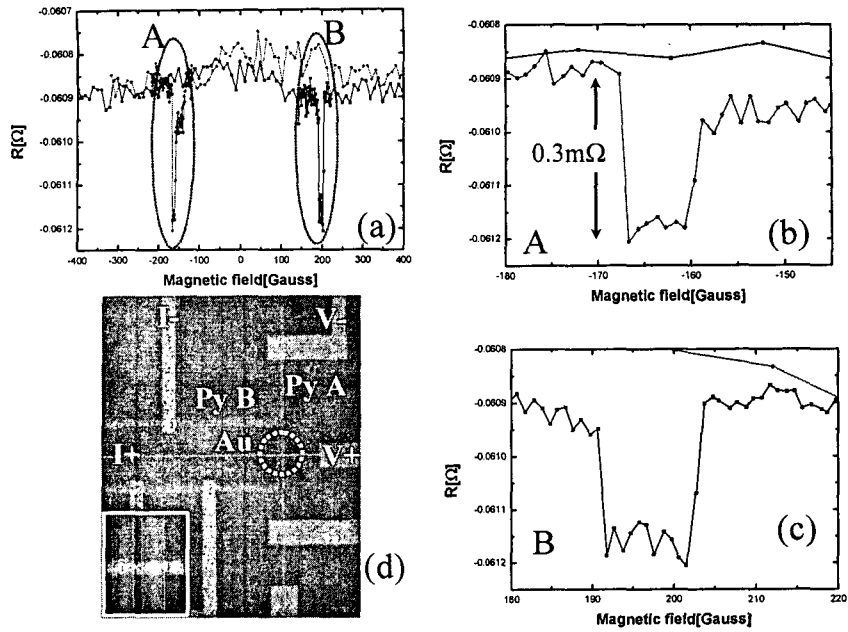


그림 1. (a) 2K에서 non-local configuration에 의해 측정된 스핀 주입 신호, (b)와 (c)는 자기장의 sweep 방향에 대한 각 신호를 확대한 것. (d) 선풍 및 간격이 약 100nm인 Py를 이용한 금(Au)으로의 스핀 주입 소자.

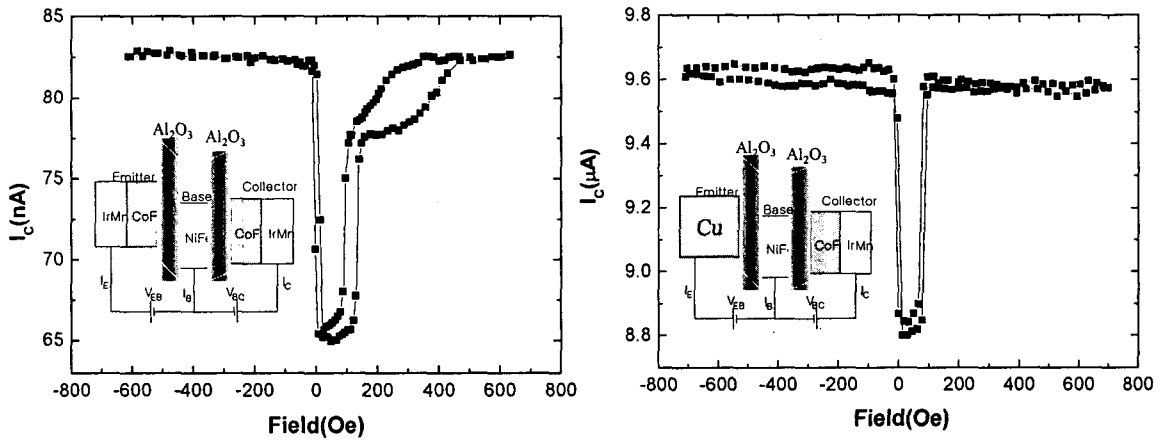


그림 2. Emitter를 자성층으로 만든 DBTT (a) 와 비자성층으로 만든 DBTT (b)의 collector 전류의 비교. 200 Oe와 400 Oe 사이에서 나타난 Emitter의 자화반전 효과가 그림 (b)에는 없다.