

FM/Au/FM 스핀밸브소자에서 스핀주입

구장해*^{1,2}, 장준연¹, 한석희¹, 하재근², 엄종화^{1,3}

- 1. 한국과학기술연구원 (KIST) 나노소자연구센터
- 2. 광운대학교 전자재료공학과
- 3. 세종대학교 물리학과

강자성체로부터 반도체로의 스핀주입은 스핀소자 구현의 핵심요소기술이다. 반도체로의 직접적인 스핀주입이 계면에서의 전도도 불일치 현상으로 그 효율이 매우 낮은 반면 FM/NM/FM의 스핀밸브 구조에서는 계면효과를 배제할 수 있고 공정이 비교적 간단하여 스핀주입현상 자체를 연구하는 데 좋은 모델시스템이 되므로 지속적인 연구가 이루어지고 있는 실정이다. [1~4]

Au를 스핀전송채널로 하는 FM/Au/FM 소자에 관한 연구는 M. Johnson이 non-local spin valve (NLSV) 측정법으로 spin coupled signal $\Delta R=2\mu\Omega$ 을 처음 보고하였는데 소자구조상의 문제로 인하여 FM의 AMR 효과가 포함되어 순수한 스핀주입 신호는 얻지 못하였다.[1]. Au는 spin-orbit interaction이 강해서 스핀전달채널로는 큰 주목을 받지 못해 이 소자에 대한 연구는 드문 실정이나 최근 Y.Ji등이 100~250나노미터의 자성전극 간격을 갖는 스핀밸브소자에서 NLSV 측정법으로 최대 약 40 $\mu\Omega$ 의 뚜렷한 스핀주입 신호를 보고하였다.[2] 이들 소자는 모두 NLSV법으로만 스핀주입신호를 측정하였다. 한편 Au를 제외하고 Cu, Al등을 채널로 이용하는 스핀밸브소자는 꽤 연구가 된 편인데 그 중 FM/Cu/FM 에서 Local spin valve (LSV) 측정법과 Non-local spin valve (NLSV) 측정법 모두에서 스핀밸브효과를 보고한 Jedema등의 연구 결과와 [3] Cu를 이용한 스핀밸브소자에서 NLSV 측정시 detector 단자의 변화에 따른 스핀주입신호를 체계적으로 연구한 Kimura등의 연구가 주목받고 있다.[4]

본 연구에서는 LSV, NLSV 측정 그리고 두 자성체의 AMR 특성을 모두 측정할 수 있도록 소자를 설계하였고 이 소자로부터 NLSV와 LSV법으로 측정된 스핀주입신호의 차이와 상관관계, Au의 스핀완화거리등을 조사하였다.

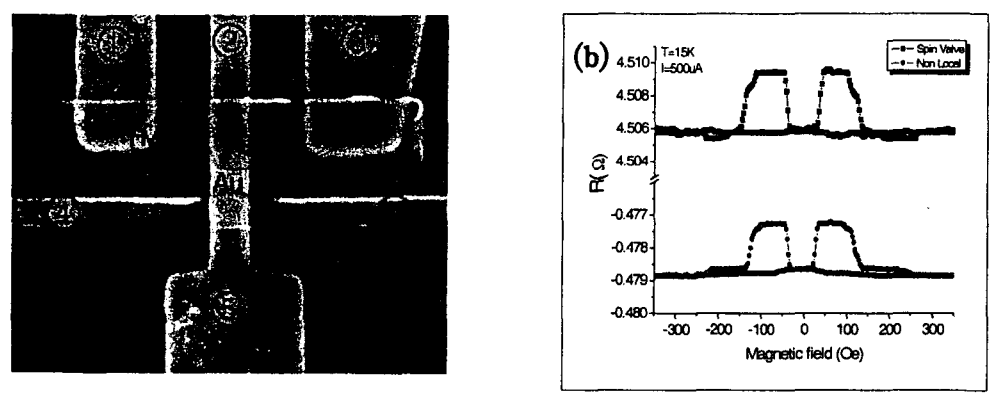


Fig. 1. (a) SEM image of the spin-valve device fabricated in the study, (b) The local (top) and non-local (down) spin valve effect of the device with a FM spacing of 200 nm measured at 15K.

산화된 n-type 실리콘기판 위에 광식각 공정과 E-Beam Evaporator로 Ti/Au(5nm/40nm) contact pad를 만든 후 전자빔식각공정(e-beam lithography)과 lift-off 공정으로 폭 200nm의 Au채널을 형성하였다. 두개의 강자성 전극으로는 퍼멀로이(Ni₈₁Fe₁₉)를 사용하였고 두 자성체 사이의 간격은 65nm~300nm까지 변화시켰다. 두 자성전극의 보자력 차이를 주기 위하여 서로 다른 축비 (aspect ratio)를 갖도록 설계 하였다. 저온 자장인가 I/V 측정시스템을 이용하여 온도는 15K~293K까지, 자기장은 강

자성 전극의 장축방향으로 $\pm 1800\text{Oe}$ 인가하면서 AC-Lock in amplifier를 이용하여 스핀신호를 측정하였다

그림1 (a)는 제작된 FM/Au/FM 스핀밸브소자의 모습이고 (b)는 15K에서 측정한 LSV와 NLSV 측정결과이다. NLSV측정에서 스핀주입신호 ΔR 은 $2\text{m}\Omega$, LSV법에서 ΔR 은 $3.5\text{m}\Omega$ 으로 매우 뚜렷한 신호를 감지하였다. 선행연구에서[1,2] 최대 수십 $\mu\Omega$ 대의 스핀신호와 비교하면 약 수백배의 높은 스핀신호가 본 소자에서 얻어졌다. 이와 같은 매우 뚜렷한 스핀신호로부터 본 연구에서 설계한 소자와 공정의 우수성을 확인하였다. 동일한 방법으로 채널 길이에 따른 ΔR 을 측정하여 Au의 스핀완화거리를 계산하였다.

< 참고문헌 >

- [1] M. Johnson Phys. Rev. Lett. 70(14), 2142 (1993)
- [2] Y. Ji, A. Hoffmann, J. S. Jiang, and S. D. Bader, App. Phys. Lett, 85(25), 6218 (2004)
- [3] F. J. Jedema, A. T. Filip, and B. J. van Wees, Nature, 410, 345 (2001)
- [4] T. Kimura, J. Hamrle, Y. Otani, K. Tsukagoshi and Y. Aoyagi, App. Phys. Lett, 85(16), 3501 (2004)