

CPP Spin Valve에서 Cross Section이 미치는 영향에 대한 Ab initio 연구
(Ab initio study on the Effect of Cross Section on Non Collinear CPP Spin
Transport in Spin Valve)

한국과학기술원 신소재공학과 노은선*, 이혁모, OHIO University Physics Ulloa Sergio

1. 서론

CPP Spin Valve는 CIP에 비해 보다 높은 자기저항비를 나타낼 뿐 아니라 표면거칠기나 구조결함 등에 덜 민감한 것으로 알려져 현재 많은 연구가 이루어지고 있다. 또한 시뮬레이션 관점에서 CPP는 CIP에 비해 계산대상크기가 수십 나노 단위로 상당히 작으므로 시뮬레이션 결과가 실험결과에 상당히 근접할 것으로 예상된다. 이에 따라 본 연구에서는 Landauer Buttiker formalism을 기반으로 하여 Brataas 및 Bauer 등이 제안한 Circuit theory를 이용하여 NiFe/Cu/NiFe CPP Spin Valve 에서의 upspin conductance, downspin conductance, total resistance 등을 NiFe/Cu interface 에서의 cross section에 따라 계산하였고 궁극적으로 giant magnetoresistance 의 변화를 알아보았다.

2. 실험방법

시뮬레이션 대상은 NiFe120Å/Cu30Å/pinnedNiFe 및 NiFe120Å/Cu85Å/pinnedNiFe 2-dim CPP Spin Valve로 하였다. Cu두께에 대해서는 본 연구에 앞서 Cu두께에 따른 GMR을 알아봄으로써 GMR이 가장 크게 나타나는 Cu두께를 선택한 것이다. 2-dim이란 x축은 current 방향이고 y축은 cross section방향을 의미한다. 외부자기장은 2T라고 하였으며 itinerant electron theory로부터 exchange splitting energy를 계산하였으며 NiFe의 stoner exchange parameter는 무자화상태에서의 계산값인 0.6011eV를 선택하였다. Landauer formula spirit에 따라 ballistic transport, phase coherent, interface resistance 등을 가정하였으며 circuit theory에서 제안되는 point contact에 대해서는 free layer인 NiFe와 barrier인 Cu 간의 interface를 선택하였다. 또한 spin flip process 및 tunnelling process도 무시하였다. circuit theory로부터 제안되는 resistance, conductance 및 GMR에 관한 식은 다음과 같다.

$$\frac{e^2}{h}R(\theta) = \frac{2}{g} \frac{\left\{ \tan^2 \frac{\theta}{2} + \eta \right\}}{\left\{ (1-p^2) \tan^2 \frac{\theta}{2} + \eta \right\}} \quad \left(g = G^\uparrow + G^\downarrow, \quad p = \frac{G^\uparrow - G^\downarrow}{G^\uparrow + G^\downarrow}, \quad \eta = \frac{2G^{\uparrow\downarrow}}{G^\uparrow + G^\downarrow} \right)$$

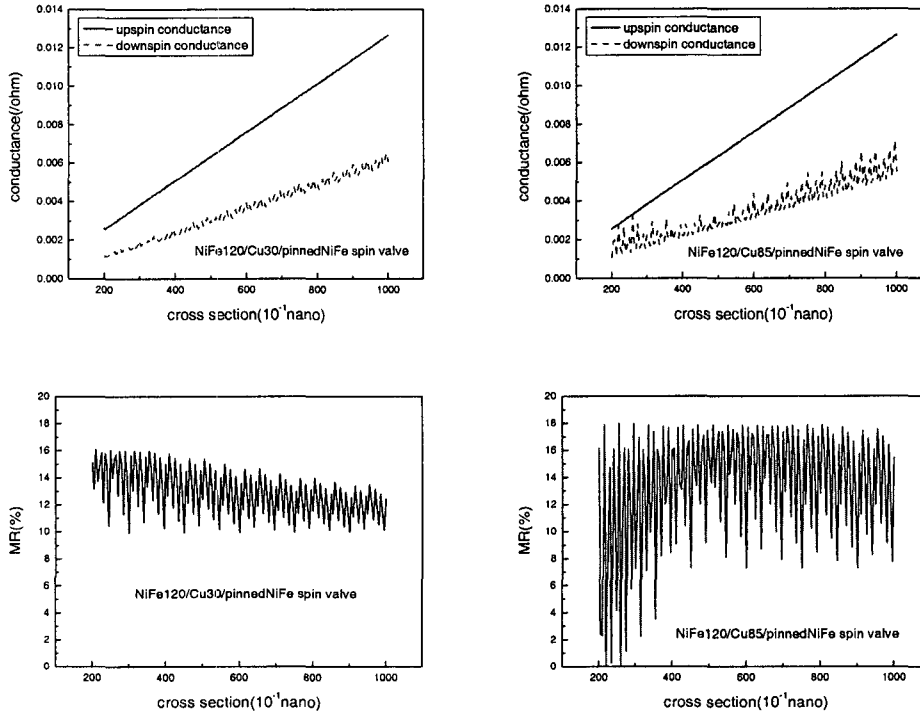
$$G^\uparrow = \frac{e^2}{h} \sum_{nm} |t_{\uparrow}^{nm}|^2, \quad G^\downarrow = \frac{e^2}{h} \sum_{nm} |t_{\downarrow}^{nm}|^2, \quad G^{\uparrow\downarrow} = \frac{e^2}{h} \left[M - \sum_{nm} r_{\uparrow}^{nm} (r_{\downarrow}^{nm})^* \right]$$

$$MR(\%) = \frac{R(\theta = 180) - R(\theta = 0)}{R(\theta = 180)} \times 100$$

위의 식들을 계산하기 위해 기본적으로 필요한 사항은 mode와 spin에 따른 transmission coefficient이며 mode에 대해서는 아래의 식에서처럼 2-dim cross section에 의해 mode가 결정된다고 가정하였고 transmission coefficient는 transfer matrix method에 의해 계산하였는데 band theory로부터 시뮬레이션 대상은 오직 conduction electron뿐이므로 conduction electron을 free electron이라고 가정하여 plane wave와 effective mass approximation에 의한 Hamiltonian을 대입하여 T-matrix를 계산하였다. Hamiltonian에 관한 식은 아래와 같으며 Hamiltonian에서 vector potential은 외부자기장방향이 yz면에 있다고 선택하여 0이라고 하였으며 contact potential은 NiFe의 upspin에서의 conduction band edge와 Cu conduction band edge 간의 차이라고 하였다.

$$\text{mode}[i] = \frac{\eta^2}{2m} * \left(\frac{\pi}{L_y} \right) * (i-1)^2, \quad \left[\varepsilon_s + \frac{(i\eta\nabla_x + eA_x)^2}{2m} + U(x) \right] \Psi(x) = \varepsilon \Psi(x)$$

3. 실험결과 및 고찰



cross section이 커질수록 conduction electron의 mode potential이 커지기 때문에 conductance가 증가하게 되고 이에 관해 위의 그래프 두개로부터 알 수가 있다. upspin conductance가 downspin conductance보다 크게 나타나는 것은 spin polarization이라고 불리는 현상으로 이는 GMR의 근본원인이 된다. conductance와는 반대로 resistance는 cross section이 커질수록 작아지게 되며 그로부터 결정되는 cross section에 따른 GMR은 위의 그래프 두개에 나와 있다. GMR의 oscillation을 볼 수가 있는데 이는 upspin conductance는 cross section에 따라 비례적으로 증가하는 반면에 downspin conductance는 cross section에 따라 oscillation을 하면서 증가하기 때문에 나타나는 현상으로 Cu두께가 30Å일때 보다는 85Å일때가 downspin conductance의 oscillation이 크기 때문에 그로부터 GMR의 oscillation도 보다 크게 나타난다고 할 수가 있다. 따라서 비록 GMR의 크기는 Cu두께가 30Å일때보다 85Å일때 약 2% 정도 크지만 Cu두께가 30Å일때가 GMR이 보다 안정적이라고 할 수가 있다. 또한 cross section이 작아질수록 oscillation 경향이 심해지는 것은 소자소형화에 대한 한계를 보여준다.

4. 참고문헌

- [1] A. Brataas, Y. V. Nazarov and G. E. W. Bauer, Eur. Phys. J. B 22, 99 (2001)
- [2] G. E. W. Bauer, Y. Tserkovnyak, D. H. Hernando and A. Brataas, Phys. Rev. B 67, 094421 (2003)
- [3] A. Brataas, Y. V. Nazarov and G. E. W. Bauer, Phy. Rev. Lett. 84, 2481 (2000)