

Co/Multilayer Graphene/Co 구조에서 일어나는 스핀수송 특성

오영만*, 엄종화, 구현철¹, 한석희¹

세종대학교 물리학과, ¹한국과학기술연구원 나노융합소자센터

Graphene은 2004년 영국 맨체스터 대학교의 A.K Geim팀과 러시아 마이크로일렉트로닉스 연구소의 연구팀이 처음 만든 것으로 원자 한 개의 두께의 벌집 무늬 구조를 가지는 2차원 탄소 구조체이다 [1]. 이 재료는 연필에서 발견되는 흑연(graphite)의 박리 작업에 의해 만들어진다. Graphene은 0차원의 fullerene으로 쌓을 수 있고, 1차원의 경우 nanotube의 형태가 되며, 3차원의 경우 graphite로 쌓아 올릴 수 있다. 2차원 graphite형태인 graphene은 60년 동안 이론적으로 널리 연구되어졌으며, 탄소를 바탕으로 한 다양한 물질의 특성들을 설명하는데 널리 사용되었다. Graphene은 자유 상태에서 존재하지 못한다고 여겨졌고, 비실용적인 물질처럼 설명되었다. 그러나 5년 전 독립해 있는 graphene을 발견하고, 실험에 의해 graphene의 charge carrier가 정말로 massless Dirac fermion으로 확인되었을 때 현실적으로 바뀌게 되었다. 본 실험에서는 multilayer graphene 채널 위에 Co 자성체[2,3]를 형성하여 외부 자기장에 따른 다층 그래핀의 스핀 수송 특성을 조사하였다.

원자 하나 두께의 탄소 단일층 그래핀 뿐만 아니라 다층의 그래핀을 얻기 위해 스킨 테이프를 이용하여 graphite로부터 기계적인 박리 작업을 통해 표면이 산화된 p-type 실리콘 기판 위에 multilayer graphene을 추출해냈다. 그래핀을 중심으로 contact pad를 형성하기 위해 광 식각 공정을 거친 후 Cr/Au(50Å/250Å)박막을 thermal 및 e-beam evaporator을 이용하여 증착하였다. 다음으로 원하는 모양으로 그래핀 채널을 만들기 위해 전자 빔 식각 공정을 한 후 O₂ plasma ashing을 하였다. Inner pad와 강자성 전극을 형성하기 위해 전자 빔 식각 공정을 거쳐 Co(400Å)를 증착 시켜 강자성 전극과 inner pad를 형성하였다. 다층 그래핀 채널의 폭은 2 μm이며, 높이는 AFM 측정으로 4 nm 정도이다. 두 강자성 전극의 보자력 차이를 주기 위해 강자성체(FM)의 폭을 각각 0.3 μm에서 1 μm의 크기까지 다양하게 제작하였으며, 두 강자성체 전극 사이의 거리를 0.85 μm에서 1.15 μm 정도로 다양하게 하여 소자를 제작하였다[그림 1].

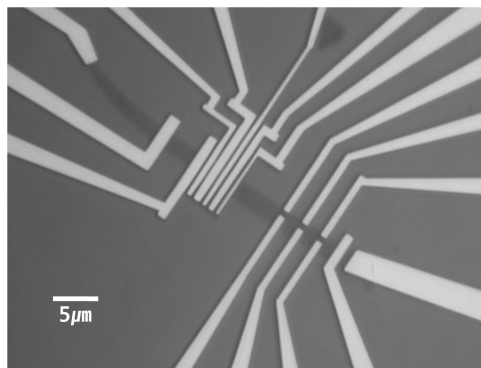


그림 1. Co/Multilayer graphene/Co spin valve device.

두 전극 사이 간격이 0.4 μm이고, 폭이 0.5 μm인 강자성 전극으로 1 mA의 전류를 흘려주고, 자기장은 강자성 전극의 장축 방향으로 약 ±2000 Oe까지 인가하고, 게이트 전압을 다르게 인가하면서 폭 0.8 μm인 강자성 전극을 통해 Lock-in Amplifier를 이용하여 논로컬 스핀 신호를 측정하였다[4].

그림 2는 온도 6K에서 Co/Multilayer graphene/Co 구조를 통해 측정된 논로컬 스핀 밸브 신호이다. 게이트 전압 -10V에서 carrier density는 $-5.92 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 이며, -5V에서는 $-20.16 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$, 0V에서는 $12.18 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$, 5V에서는 $7.08 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 로 변화시켜 이에 따른 스핀 밸브 효과를 확인하였다. Dirac neutrality point는 -5V 정도이며, dirac neutrality poin를 중심으로 게이트 전압이 -5V보다 낮은 경우 carrier type이 정공(hole)이며, 높은 경우 전자(electron)임을 확인하였다. 이동도(Mobility)는 게이트 전압 -10V에서 $3870 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$, -5V에서 $1240 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$, 0V에서 $5531 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$, 5V에서 $7261 \text{ cm}^2/\text{Vsec}$ 이다.

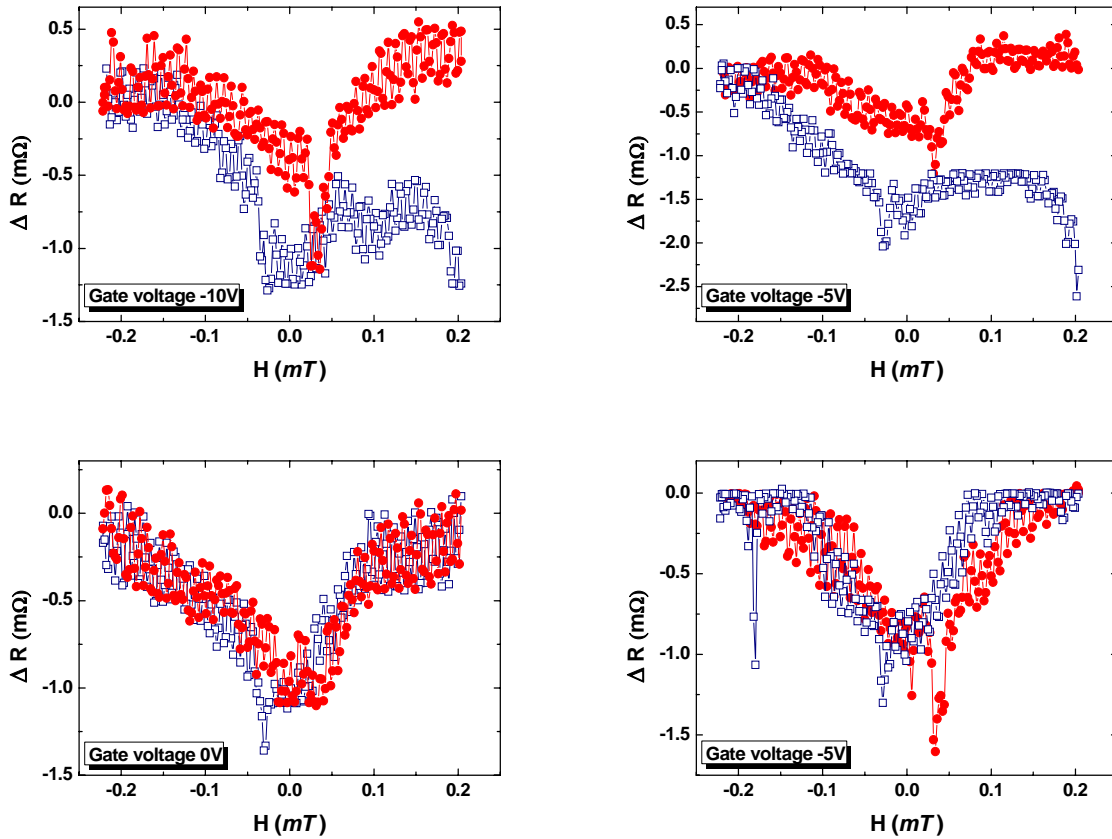


그림 2. 게이트 전압에 따른 논로컬 스핀 밸브 신호. 기본 저항값으로 게이트 전압 -10V에서 $R=2.48\Omega$, -5V에서 $R=2.58\Omega$, 0V에서 $R=2.45\Omega$, 5V에서 $R=2.16\Omega$ 이 측정되었다.

이 연구는 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0072022).

References

- [1] A.K. Geim and K.S. Novoselov, Nature Mater. **6**, 183 (2007)
- [2] Nikolaos Tombros *et al.*, Nature **448**, 571-574 (2007)
- [3] H. Goto *et al.*, Appl. Phys. Lett. **92**, 212110 (2008)
- [4] Cho *et al.*, Appl. Phys. Lett. **91**, 123105 (2007)