Q-1

Enhanced Tunnel Magnetoresistance Ratio by Coulomb Blockade in a Mesoscopic $Ni/Al_2O_3/Co/Al_2O_3/Ni$ Double Junction

전북대학교 소혜미, 김재령, 이정오, 김주진*
표준과학연구원 김진희, 유경화, 우병칠

Chonbuk National University Hye-Mi So, Jae-Ryoung Kim, Jeong-O Lee, Ju-Jin Kim*
KRISS Jinhee Kim, Kyung-Hwa Yoo, Byung-Chill Woo

1. 서론

크기가 수십 나노미터 이하인 미소 터널 접합은 단전자 터널링의 쿨롱차폐라는 특징적인 현상을 보인다는 것이 알려졌는데 최근 십여년 동안 다양한 재질의 소자에서 이러한 현상이 보고되었고 이를 이용한 다양한 구조의 전자소자가 제안되었다[1]. 그 응용가능성도 광범위해서 플래시 메모리소자에서[2] 전기표준에[3] 이르기까지 다양하다. 만약 접합의 구성물질이 강자성체이면 전기장 뿐만 아니라 자기장에 따른 전기전도 특성의 변화가 예상된다. 서로 다른 강자성체로 이루어진 자성접합은 자기장에 따라 전류전도도의 변화를 보인다는 것이 알려졌는데 이는 스핀밸브 효과로 설명이 된다[4]. 쿨롱차폐 현상은 이러한 전류전도도의 변화량을 증가시켜 자기저항비를 크게 높일 수 있다[5,6]. 본 실험에서는 $Ni/Al_2O_3/Co/Al_2O_3/Ni$ 이중접합으로 이루어진 자성 단전자소자를 제작하고 전기적 특성을 측정하였다. 소자는 특징적인 쿨롱차폐 현상을 보였고 쿨롱차폐 영역에서 뚜렷한 자기저항비의 증가를 관찰할 수 있었다.

2. 실험 결과 및 결론

실험에 사용한 $Ni/Al_2O_3/Co/Al_2O_3/Ni$ 자성 단전자소자는 전자빔 식각법과 양각증착법을 이용하여 제작하였다. 먼저 PMMA/Co-PMMA 위에 전자빔으로 패턴을 그린후 현상액에 담가 패턴을 형성한다. 이어서 30 nm 두께의 Ni 박막을 열증착하고 10 nm 두께로 Al 박막을 입혀 산소 분위기하에서 산화시킨다. 마지막으로 Co 박막을 30 nm 두께로 올린 뒤 남아있는 PMMA/Co-PMMA 를 아세톤에 담가 녹인다. 제작된 자성 단전자소자는 접합부의 크기가 80×150 nm^2 정도였다 [그림 1 (a) 참조]. 제작된 시료를 희석 냉동기에 부착하여 저온에서의 전기적 특성을 측정하였다.

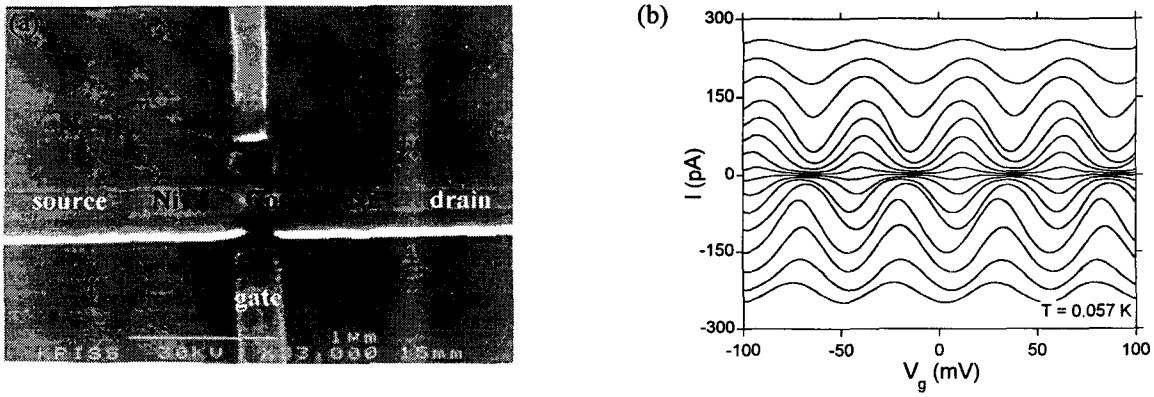

그림 0. (a) 제작된 자성 단전자 소자의 SEM 사진 (b) 인가전압 변화에 따른 게이트 전압 – 전류 곡선. 측정 온도는 57 mK 이고 인가전압은 –0.14 mV 에서 0.14 mV 였다.

제작된 소자의 전류전압 곡선은 쿨롱차폐로 인해 저전압에서 전류가 감소함을 보여주었다. 그림 1(b)는 측정된 소자의 게이트 전압-전류 곡선으로 쿨롱 진동(Coulomb oscillation) 이라고 불리는 게이트 전압에 따른 전류의 주기적 변화를 잘 나타내고 있다[1]. 측정된 쿨롱갭의 크기는, E_c = 0.19 meV 로 T = 15 K 정도까지 쿨롱차폐로 인한 전류-전압 곡선의 비선형성이 나타났다.

인가된 자기장의 세기를 변화시키며 소자의 저항 변화를 측정하였다. 자기장은 그림 1(a)에서 전극의 길이 방향에 수평하게 인가하였다. 그림 2(a)는 온도에 따른 자기저항 곡선을 나타낸다. 인가전압 5 mV 가 쿨롱갭 전압 $V_c = E_c/e$ = 0.19 mV 보다 훨씬 크고 온도가 낮아 자기모멘트가 포화된 상태여서 온도에 따른 자기저항 곡선의 변화는 두드러지지 않다. 하지만 인가전압을 낮추면 자기저항비의 증가가 관찰되는데 그림 2(b)는 T = 0.3 K 에서 인가전압에 따른 자기저항비의 변화를 보여준다. 인가전압을 8 mV 에서 1 mV 로 줄이면 자기저항비가 5.5 % 에서 11.6%로 두배 이상 증가함을 알 수 있다. 이러한 자기저항비의 증가는 쿨롱차폐 영역에서 전류-전압 곡선이 비선형적 특성을 보이기 때문에 나타난다[5]. 이렇듯 쿨롱차폐 현상을 이용하면 터널자기저항 소자의 자기저항비를 높여서 소자의 특성을 향상시킬 수 있다. 하지만 이러한 자기 단전자소자의 실용화를 위해서는 상온에서 작동하는 단전자소자를 제작해야 하고 필연적으로 소자의 크기를 줄여야 한다. 이럴 경우 예상되는 스핀 터널링에 의한 자성체의 불안정성에 관한 연구가 필요하다.

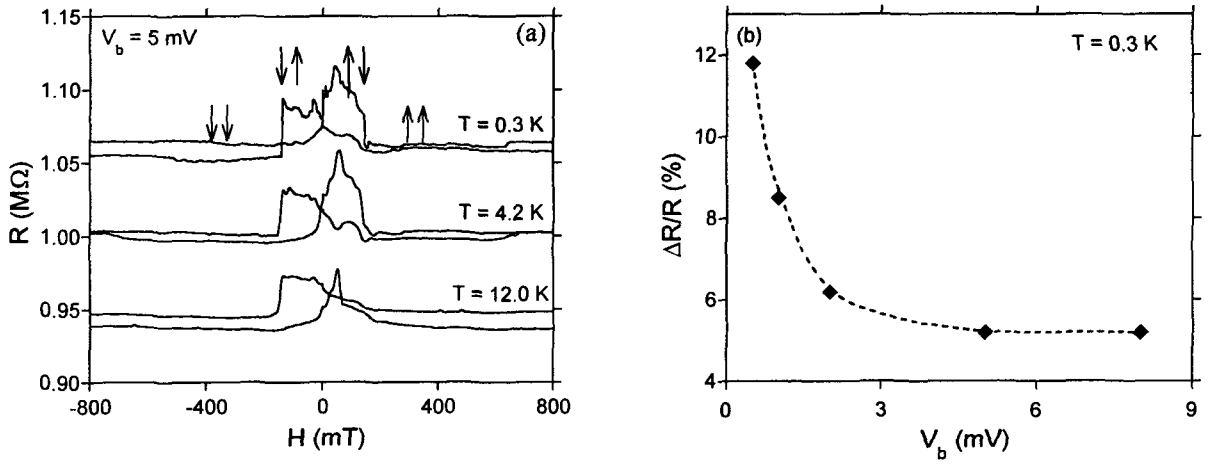

그림 2. (a) 온도 변화에 따른 자기저항 곡선의 변화. 화살표는 Co 와 Ni 박막의 상대적인 자화 방향을 나타낸다. (b) 인가전압에 따른 자기저항비의 변화. 측정 온도는 0.3 K 였다.

참고문헌

[1] *Single Charge Tunneling*, edited by H. Grabert and M. H. Devoret (Plenum Press, NY, 1992).

[2] S. Tiwari, *et al*, Appl. Phys. Lett. **68**, 1377 (1996); L. Guo, E. Leobandung, and S. Y. Chou, *ibid.* **70**, 850 (1997);C. D. Chen, Y. Nakamura, and J. S. Tsai, Appl. Phys. Lett. **71**, 2038 (1997); K.-H. Yoo, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **74**, 2073 (1999).

[3] H. Pothier *et al.*, Europhys. Lett. **17**, 249 (1992); J. P. Pekola, K. P. Hirvi, J. P. Kauppinen, and M. A. Paalanen, Phys. Rev. Lett. **73**, 2093 (1994); A. Clark *et al.*, Appl. Phys. Lett. **66**, 2588 (1995); M. W. Keller, J. *et al.*, *ibid.* **69**, 1804 (1996).

[4] J. S. Moodera, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **69**, 708 (1996); P. M. Tedrow and R. Meservey, Phys. Rep. **238**, 174 (1994); M. Julliere, Phys. Lett. A **54**, 225 (1997).

[5] K. Ono, H. Shimada, and Y. Ooyuka, J. Phys. Soc. Jpn. **66**, 1261 (1997); K. Ono, H. Shimada, S. Kobayashi, and Y. Ootuka, *ibid.* **65**, 3449 (1996); J. Kim *et al.*, Physica B **284-288**, 1794 (2000).

[6] S. Takahashi, S. Maekawa, Phys. Rev. Lett. **80**, 1758 (1998); H. Immamura, S. Takahashi, S. Maekawa, Phys. Rev. B **59**, 6017 (1999); A. Brataas Yu. V. Nazarov, J. Inoue, and G. E. W. Bauer, Phys. Rev. B **59**, 93 (1999).