

GaMnAs/Co 나노자성체 하이브리드 소자의 특성

서주영^{1,2*}, 김원용¹, 장준연¹, 김은규², 천승현³, M.Saphonin⁴, V.L.Mironov⁴, A.A.Fraerman⁴

¹KIST 나노소자연구센터(pesto@kist.re.kr),

²한양대학교 물리학과 양자기능스피닉스 연구실,

³세종대학교 물리학과,

⁴Institute for Physics of Micostructures RAS, Nizhny Novforod, Russia

1. 서론

거대자기저항 현상의 발견과 함께 최근 MRAM 등의 자기소자가 실용화되면서 전자의 스핀상태를 여러 소자에 응용하려는 노력이 이루어지고 있다. 스핀을 이용한 신개념 전자소자를 개발하기 위해서 스핀의 전도특성에 대한 물리적 이해와 아울러 스핀소자를 만들 수 있는 새로운 소재의 개발이 필수적이다. 강자성 나노구조는 기억소자나 자기장 검출기와 같은 다양한 용도에 사용되고 있다.[1] 최근 나노자성체의 자기상태를 독립적으로 제어할 수 있는 기술이 개발되어 나노자성체 어레이 구조에서 다양한 크기의 자기장을 유발할 수 있다.[2,3] 나노자성체의 자화상태를 독립적으로 조절할 수 있는 가장 쉬운 방법은 자기력현미경의 팁을 이용하는 것이다.[4] 어레이 구조에서 조절하려고 하는 나노자성체에 자기력 현미경 팁을 접근 시키면 팁과 나노자성체의 상호작용에 의해 효과적으로 자화상태를 변화시킬 수 있고 이렇게 함으로써 나노자성체 어레이 구조로부터 다양한 크기의 국부적인 자기장을 얻을 수 있다. 이러한 국부 자기장은 초전도체나 조셉슨 접합의 전도특성을 변화시킨다.[5,6]

본 연구에서는 Co 나노자성체를 형성하여 이 자성체의 자기상태와 개별 자성체의 자화제어 가능성을 조사하였다. 다음 Co 나노자성체가 GaMnAs 채널위에 규칙적으로 형성된 소자를 제작하여 나노자성체의 자기상태에 따른 GaMnAs의 전도특성을 조사하였다.

2. 실험방법

GaAs기판 위에 분자선 에피택시 (molecular beam epitaxy : MBE) 장비로 100 nm 두께의 GaMnAs 층을 성장하였다. 이 GaMnAs 박막의 Mn의 도핑 농도는 5%, 큐리온도는 120K이다. Co 나노자성체와 GaMnAs 마이크로채널의 전기적 접촉을 피하기 위해 10 nm 두께의 TaOx 층을 증착하고, 광식각 공정과 ICP-RIE 공정을 이용하여 길이 8 μ m, 폭 1 μ m의 GaMnAs 마이크로 채널을 형성하였다. 이 채널 위에 전자빔 패터닝, 전자빔 증착, 리프트 오프 (lift-off) 공정을 수행하여 600 \times 300 nm의 타원형 Co 자성체 구조를 형성하였다. 그림 1은 제작된 소자의 SEM 사진이다.

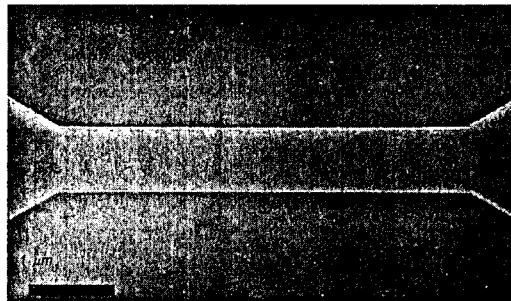


Fig 1. SEM Image of a fabricated device

Co 나노자성체의 자기특성과 개별적 자화반전은 자기력현미경 (MFM Solver-pro, NT-MDT)을 이용하였으며 외부 자기장 소스를 MFM에 부착하여 적당한 크기의 자장을 인가하면서 Co 나노자성체 구조의 자화반전과 각 나노자성체의 자화반전에 따른 유발 자기장의 변화를 관찰하였다. 또한 PPMS (physical property measurement system) 장비를 이용하여 4K에서 여러 방향으로 (in-plane)

외부 자기장을 인가하면서 소자의 전도특성을 측정하였다. 자기저항은 전류의 방향과 외부 자기장의 방향을 평행, 수직하게 변화를 주며 나노자성체에서 유발되는 불균일 자기장에 따른 전도특성을 조사하였다.

3. 결과 및 토의

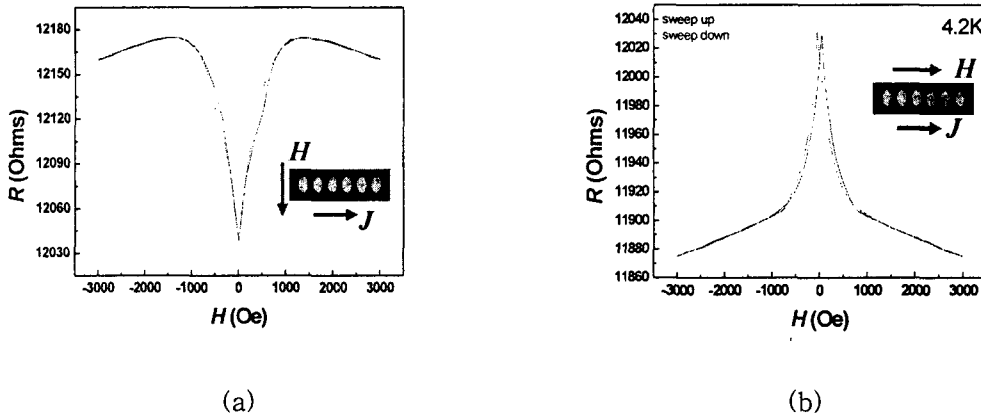


Fig 2. Anisotropy magnetoresistance of GaMnAs channel under magnetic field applied perpendicular (a) and parallel to the current direction(b)

그림 2는 Co 나노자성체가 GaMnAs 채널위에 있으며, Co 어레이 방향과 전류의 방향은 같고, 이 방향에 따른 외부 자기장은 평행 혹은 수직하게 하여 자기저항을 측정한 것을 보여준다. GaMnAs의 결정 자기 이방성으로부터 나타난 결과로 그림 2(a)는 외부 자기장이 증가함에 따라 저항이 같이 증가하는 양의 자기저항을 가지며, 그림 2(b)는 외부 자기장이 증가함에 따라 저항의 값이 작아지는 음의 자기저항을 갖는다. 또한 Co 나노자성체에서 유발되는 국소 불균일 자기장으로 인해 외부 자기장의 스위칭에 따라 낮은 외부 자기장 영역 구간에서 자기저항이 미세하게 변화하였다.

4. 결론

Co 나노자성체와 GaMnAs 채널로 이루어진 자성반도체 기반 신개념 소자를 제안하였다. 나노자성체의 자기상태를 독립적으로 조절하여 이로부터 다양한 크기의 국소 자기장을 얻을 수 있었다. GaMnAs는 매우 뚜렷한 결정 자기 이방성을 갖고 있으며 Co 나노자성체로부터 발산되는 국소 불균일 자기장에 의해 GaMnAs의 전도특성이 변화함을 확인하였다.

5. 감사의 글

본 연구는 한국과학기술연구원(KIST) 첨단기술협력사업 및 Vision21사업의 지원으로 수행되었습니다.

6. 참고 문헌

- [1] J.I.Martin, J.Nogues, K.Liu, J.L.Vicent, I.K.Schuller: J. Magn. Magn. Mat. 256, 449, (2003)
- [2] R.P.Cowburn, D.K.Koltsov, A.O.Adeyeye, M.E.Welland, D.M.Tricker: Phys. Rev.Lett, 83, 1042, (2003)
- [3] A.Fernandez, C.J.Cerjan: J. Appl. Phys. 87, 1395, (2000)
- [4] J.Chang, A.A.Fraerman, S.H. Han, H.J.Kim, S.A.Gusev, V.L Mironov: J. of Magnetism, 10(2), 58, (2005)
- [5] A.V.Silhanek, L.Van Look, S.Raedts, R.Jonckheere, V.V.Moshchalkov: Phys. Rev. B. 68, 214504, (2003)
- [6] N.Vdovichev, B.A.Gribkov, S.A.Gusev, E.I'ichev, A.Yu.Klimov, Yu.N.Nozdryn, G.L.Pakhomov, V.V.Rogov, R.Stolz, A.A.Fraerman: JETP Letters 80, 651, (2004)
- [7] M. Berciu, B. Janko: Phys. Rev. Lett, 90, 246804, (2003)