

FeMn/NiFe에서 Laser 열처리에 의한 자구연구

최상대¹ · 김선욱¹ · 진대현² · 이미선¹ · 안진희¹ ·
주호완¹ · 김영식² · 이기암¹ · 이상석³ · 황도근^{3*}

¹단국대학교 물리학과, 충남 천안시 안서동 산 29번지, 330-714

²단국대학교 의학레이저연구센터, 충남 천안시 안서동 산 29번지, 330-714

³상지대학교 컴퓨터전자물리학과, 강원 원주시 220-702

(2004년 11월 25일 받음, 2004년 12월 20일 최종수정본 받음)

교환결합된 NiFe/FeMn 이중박막에서 Laser 열처리를 통하여 국소적인 자화반전을 연구하였다. 600 G의 외부 자기장을 시편에 가하면서 DPSS Laser로 자화 반전시켰으며, 300 mW에서 15분 동안 국소적인 부분을 조사하였다. 국소적으로 자화반전 시킨 박막을 다시 원래 방향으로 역 반전시켜 자기저항(MR)곡선 피크가 감소된 것을 관찰하였다. 이는 직접적으로 Laser를 가한 박막의 손상과 계면에서 내부 확산에 의한 것으로 생각된다. 국소적인 반전 자화의 자구구조는 MFM을 통하여 관찰하였다. 자화반전 영역에서 새로운 자구벽을 형성하였으며, Laser가 조사된 영역근처에서 자구벽이 형성된 것을 관찰하였다.

주제어 : Laser 열처리, MFM, 자화반전, FeMn/NiFe, 자구구조

I. 서 론

MRAM(magnetic random access memory) 소자로서의 적용을 위해 강자성 물질을 이용한 비휘발성과 기록밀도의 고집적에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1-3]. 자성 박막 구조의 memory array에서 bits 정보를 쓰기 위해서는 외부전류를 wire에 가하여 자화방향을 반전시켜야 한다. 이러한 공정상의 문제점을 극복하기 위하여 wire를 없애고 강자성 박막에 직접 전류를 가하여 자구벽의 이동과 spin의 변화로 인한 자화 반전을 전류로 제어하는 방법이 연구되어지고 있다[4, 5]. 극미세 패턴을 하여 두 강자성의 한쪽을 반대 방향으로 스핀을 정렬시켜 이용하는 것이 자기기록매체와 자기헤드, 자기센서 등의 응용에 보편화된 방법이다. 자화 반전은 free magnet element의 경우에는 외부 자기장과 전류에 의해 제어되지만, 반강자성에 의한 pinned magnet element의 경우에는 국소적인 열처리에 의해서 가능하다[6].

전류에 의해 자성박막의 자화가 반전하는 것은 여러 연구자에 의해 이론적으로 제안하였으나, 박막 제작 과정에서 표면의 거칠기와 결정성이 매우 정밀해야 하는 어려움이 있다. 본 연구에서는 메릴랜드 대학의 Gomez 그룹에서 처음 제시한 새로운 형태의 전류제어를 통한 자화반전기술을 시도해보고자 한다. 따라서 기존의 열처리와는 달리 Laser 열처리를 이용하여 교환결합된 박막에서의 자기적 특성을 알아보고, 자기력현미경(MFM)을 통해 열처리된 박막의 자구구조와 자구벽을 관찰하는데 그 목적을 두고 있다[7].

II. 실험방법

다층박막구조는 이온빔 스퍼터링 시스템을 이용하여 Ta(5 nm)/NiFe(11 nm)/FeMn(16 nm)/Ta(5 nm)를 제작하여, 1mm×15mm 크기로 패터닝하였다. 열처리에 사용된 광원은 Diode Pumped Solid State(DPSS, Nd:YAG, SHG) Laser를 이용하여 하였으며, 박막 시편에 600 gauss의 인가자장 하에 continuous wave (CW) second harmonic generation (SHG)인 532 nm 파장으로 15분 동안 조사하였다. Laser 빔의 전송은 광 화이버를 사용하였으며, 빔의 직경은 1 mm로 하여 Laser power를 440 mW까지 증가시켰다. 증착시 인가자기장(H_a)과 열처리할 때의 인가자기장(H_a)은 서로 반대방향으로 하였으며, 자기저항 및 자기특성은 각각의 power에 따라 DC-4단자법과 VSM으로 측정하였다. 조사된 부분의 자구구조는 MFM(Digital Instrument, DI dimension 3100 IVa)을 통해 관찰하였다.

III. 실험결과 및 고찰

NiFe/FeMn 이중박막에서 증착시 인가자기장(H_a) 방향과 국소적인 Laser 열처리시 인가자기장(H_a) 방향을 반대로 하여 Laser power를 400 mW까지 증가시켜 자기저항을 측정하였다. 이를 다시 반대방향으로 즉, 증착시와 같은 방향으로 외부자기장을 가하면서 200 mW까지 증가시켜 자화반전이 복귀되는지 관찰하였다.

Fig. 1은 Laser 열처리시 외부자기장의 방향변화와 여러 Laser power에 따라 strip 패턴된 NiFe(11 nm)/FeMn(16 nm) 이중박막에서 자기저항의 변화를 보여주고 있다. Laser 열처

*Tel: (033) 730-0413, E-mail: mail.sangji.ac.kr

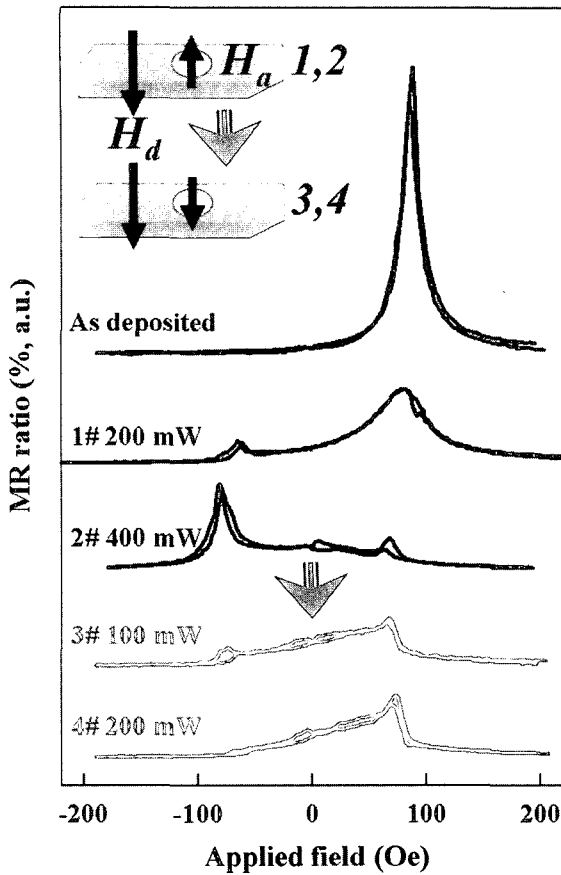


Fig. 1. The change of MR curves of the strip-patterned NiFe(11 nm)/FeMn(16 nm) bilayer for a restored applied field and various laser power.

리하지 않았을 때의 자기저항비와 교환결합력(H_{ex})은 각각 0.9 %와 +87 Oe 이었다. 여기서 Laser power를 증가시킬수록 양의 자기장에 있는 MR 피크가 +87 Oe에서 점차 사라져 가고, 음의 자기장축의 -63 Oe에서 MR 피크가 나타나기 시작하였다. 400 mW에서 MR 피크는 거의 양의 방향에서 음의 자기장방향으로 거의 옮겨 갔으며, 음의 자기장방향에 새로 생겨난 MR 피크의 크기는 Laser 열처리 전의 크기보다 불과 35%에 지나지 않는다. 이는 전체 시편 중에 국소적으로 자화반전된 것과 또한 Laser 열처리 중 박막계면의 확산, Laser 조사로 인한 손상이 그 원인으로 볼수 있다. Fig. 1에서 3번과 4번은 외부자기장의 방향을 다시 원래방향(증착시 자기장방향)으로 인가하면서 Laser 열처리하였을 때, Laser power를 증가시킴에 따라 교환자기이방성이 원래방향으로 복구되어 다시 자화 반전되는 것을 볼 수 있다. 즉, power가 증가할수록 음의 MR 피크가 다시 사라져가고 양의 MR 피크가 다시 증가하는 것을 볼수 있다. 그러나 원래 열처리 전의 MR 피크의 크기와 자화 반전시켰다가 되돌아온 MR 피크의 크기를 비교해 볼 때 약 30%만이 피크 값을 회복하였는데, 이는 Laser 열처리로 인한 NiFe와 FeMn 사이 계면의

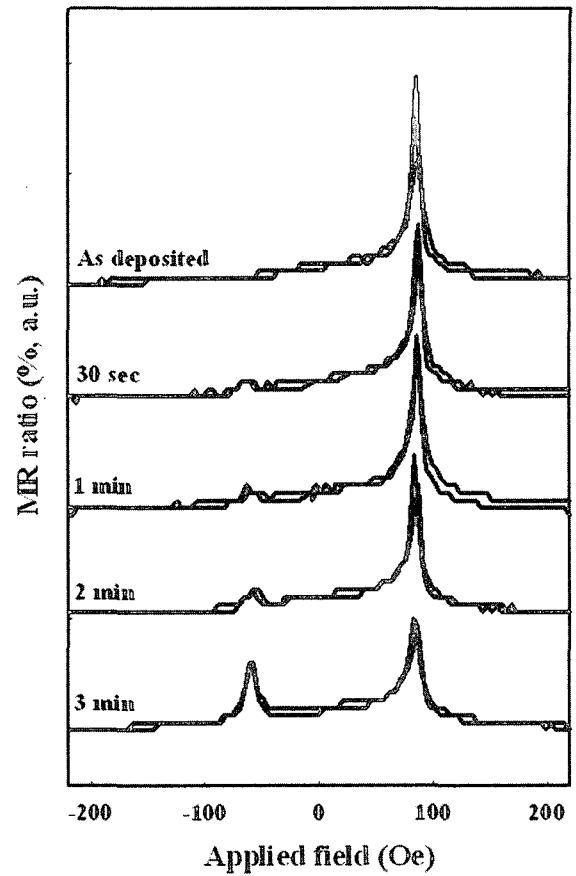


Fig. 2. The change of MR curves as a function of illumination time of laser annealing up to 3 min, where the laser power is 300 mW.

내부확산과 Laser 열처리에 의한 손상으로 보인다. 뒤에 MFM을 통한 결과를 보이겠지만 Laser 열처리를 직접 박막에 가해 줌으로 인해 일부가 박막에 손상을 가져온다. 따라서 계면의 내부 확산뿐 만 아니라, 박막의 일부에 가해지는 손상에 의해서도 MR 비와 교환결합력에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

Fig. 2은 Laser power를 300 mW로 고정하고 조사 시간을 순차적으로 3분까지 증가시켰을 때 MR 곡선의 변화를 나타낸 것이다. 시간을 증가시킬수록 음의 자기장 반향의 MR 피크는 3분까지 계속 성장하였다. 3분 후에는 거의 변화가 없었다. 이것은 Laser 열처리 시간에 따른 자화 반전이 포화되는 것을 의미한다. 따라서 3분 이상 Laser 조사를 시켜주었을 때 가장 높은 자화 반전을 일으키는 것을 보여준다. 그 이상의 시간동안에 열처리는 국소적인 면적만이 열처리되기 때문에 더 이상 피크가 늘어나지는 않는다. 단지 Laser power를 400 mW까지 증가시키면 자화반전을 좀더 확대시킬 수 있어서 음의 MR 피크를 키울 수 있었다. 그러나 이 경우에도 시간에 따른 증가는 음의 피크가 더 커지는 현상은 일어나지 않았다. 하지만 400 mW의 경우 그만큼 박막에 가해지는

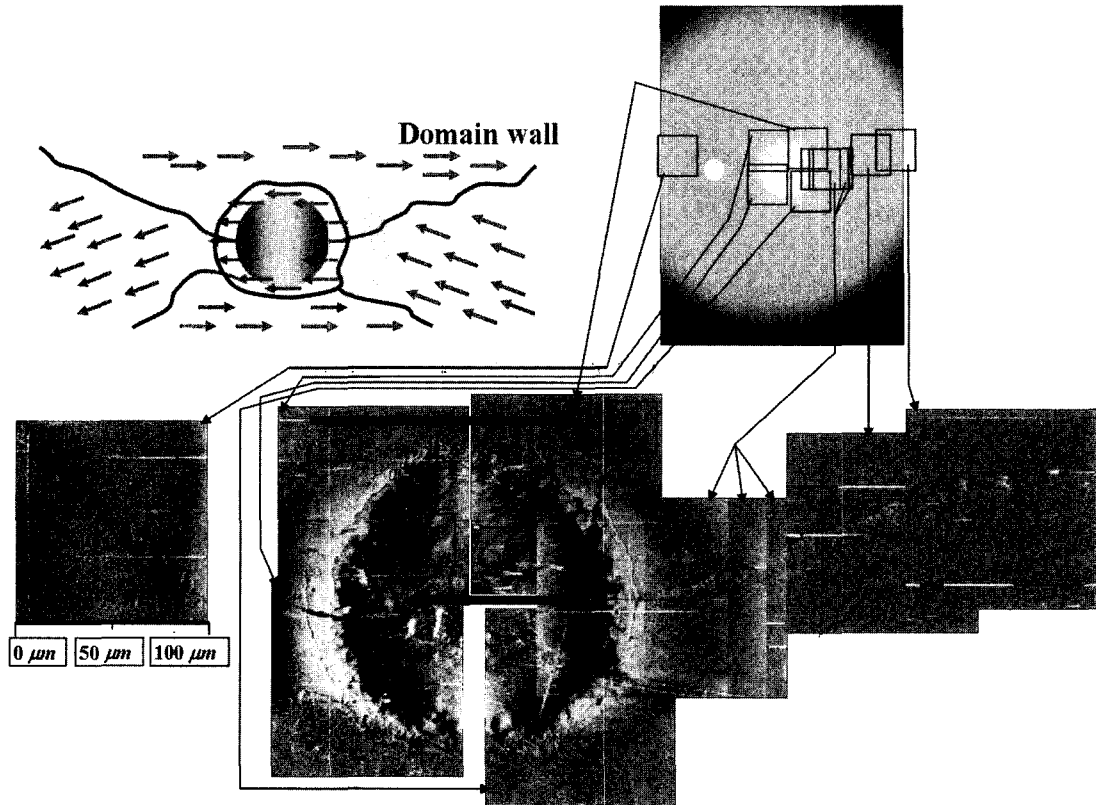


Fig. 3. Magnetic domain structure of locally illuminated region laser measured by MFM where the scan size is 100 μm .

Laser 열처리의 손상이 더 커졌을 것으로 예상된다. 이는 MFM을 통한 Laser 열처리영역의 자기구조를 보면 쉽게 볼 수 있다.

Fig. 3은 NiFe/FeMn 이중박막에서 Laser 조사된 영역을 MFM 통해 100 μm 의 크기로 scan하여 국소적인 자기구조를 보여준다. Fig 에서 보듯이 검게 손상을 입은 면적은 대략 150 μm 이며, 이때 가해진 Laser power는 300 mW이다. 여기서 박막에 가해진 power가 300 mW임에도 불구하고 Laser를 직접적으로 박막에 조사함으로 인해 중심에 domain이 파괴된 것으로 보인다. 손상된 구역 주변은 복잡한 자기와 180° 자기벽들로 둘러싸여있다. 손상된 구역에서 조금 멀리 떨어진 영역의 자기구조는 조사된 곳을 중심으로 4 개의 구역으로 나뉘는데 이것은 Fig 상단부 왼쪽에 자기구조 모양을 삽입하여 그려놓았다. 이것은 Laser 열처리에 의해 직접적으로 박막의 자기에 영향을 주는 것이 아니라, 열처리된 중심으로 주변의 자기구조를 변화시켜 간접적으로 자화가 반전된 것을 나타낸다.

IV. 결 론

Laser 열처리를 이용하여 교환결합된 NiFe/FeMn 박막에서

국소적인 자화 반전의 결과를 얻었다. Laser power가 증가할 수록 교환결합의 국소적인 반전으로 인해 반대편에 MR 피크가 생겼다. 또한 인가자기장의 방향에 따른 열처리를 통해 반전된 교환결합의 자기이방성을 다시 되돌릴 수 있었다. 그러나 MR 피크는 박막의 손상과 내부 확산으로 인해 완전히 되돌리지는 못하였다. 자화 반전된 구역의 자기구조를 관찰하였으며, 자기구조는 조사된 지점을 중심으로 4개의 자구로 나뉘었다.

감사의 글

This work was supported by Grant No. R05-2003-000-11200-0 from the Basic Research Program of KOSEF

참고 문헌

- [1] S. W. Kim, S. D. Choi, D. H. Jin, K. A. Lee, S. S. Lee, and D. G. Hwang, *J. Magn. Mater.* **272**, 376(2004).
- [2] W. H. Meiklejohn, C. P. Bean, *Phys. Rev.* **102**, 1413(1956).
- [3] G. A. Prinz, *Science* **282**, 1660(1998).
- [4] E. B. Myers, D. C. Ralph, J. A. Katine, R. N. Louie, and R. A. Buhrman, *Science* **285**, 867(1995).

[5] J. Z. Sun, J. Magn. Mater. **202**, 157(1999).

[7] J. A. Katine, F. J. Albert, and R. A. Buhrman, E. B. Myers and

[6] C. Aroca et al. Phys. Rev. B **42**, 8086(1990).

D. C. Ralph, Phys. Rev. Lett. **84**, 3149(2000).

Magnetic Domain Structure in Laser-Annealed NiFe/FeMn Bilayers

S. D. Choi¹, S. W. Kim¹, D. H. Jin², M. S. Lee¹, J. H. Ahn¹, H. W.O Joo¹, Y. S. Kim²,
K. A. Lee¹, S. S. Lee³ and D. G. Hwang^{3*}

¹Department of Physics, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

²Medical Laser Research Centre, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

³Department of Computer and Electronic Physics, Sangji University, Wonju 220-702, Korea

(Received 25 November 2004, in final form 20 December 2004)

We have studied local magnetization reversal by laser annealing in exchange biased NiFe/FeMn bilayer. Local magnetization reversal was performed by using the DPSS laser under external magnetic field of 600G. When the laser illuminated the patterned film with the power of above 300 mW during 15 min, a magnetoresistance (MR) curve with symmetric peaks at the opposite field was obtained due to the local reversal of exchange biasing. The direction of exchange anisotropy in the locally reversed region can be restored by local laser annealing under alternating magnetic field, even if its MR peak was reduced by the damage and interdiffusion. The magnetic domain structure of the locally reversed region was measured by MFM. The new domains were generated by laser annealing near the exposed area.

Key words : Laser annealing, MFM, magnetization reversal, FeMn/NiFe, domain structure