

Laser 열처리를 이용한 FeMn/NiFe 박막의 자화 반전

최상대¹ · 진대현² · 김선욱¹ · 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 17일 최종수정본 받음)

Ta(5 nm)/NiFe(11 nm)/FeMn(16 nm)/Ta(5 nm)과 Ta(5 nm)/NiFe(11 nm)/FeMn(16 nm)/NiFe(7 nm)/Ta(5 nm)의 다층박막구조를 제작하여, Laser의 power, 조사 위치, 자장의 방향에 따라 자기저항(MR)비와 교환결합력(H_{ex})의 자기적 특성을 연구하였다. Laser 열처리는 power를 440 mW까지 증가시키면서 FeMn/NiFe 이중박막을 15분 씩 Laser로 조사하여, 200 mW에서부터 음의 자기장에서 자기저항곡선의 피크가 발생하기 시작하였다. 400 mW까지 증가시키면서 양의 자기장에서 자기저항곡선의 MR비와 H_{ex} 가 각각 0.9%에서 0.1%로, 87 Oe에서 76 Oe로 감소하였고, 음의 자기장 피크에서는 MR비와 H_{ex} 가 모두 증가하였다. 또한 NiFe/FeMn/NiFe 삼중박막에서도 같은 결과를 얻었다. 300 mA로 laser 열처리한 면적을 증가시켰을 때 자기저항곡선이 positive 피크는 감소하고 negative 피크는 증가하였다. 이러한 Laser 열처리효과에 의해 결과적으로 교환결합된 박막구조의 국소적 자화반전을 가능하게 하였다.

주제어 : Laser 열처리, 자기저항곡선, 국소적 자화반전, FeMn/NiFe

I. 서 론

최근에 차세대 RAM으로 사용될 것으로 보이는 MRAM 소자로서의 적용을 위해 강자성 물질을 이용한 비휘발성과 기록 밀도의 고집적에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 자성 박막 구조에서 자구벽의 이동과 spin의 변화로 인한 자화 반전을 전류로 제어하는 방법이 연구되었다[2, 3]. 작게 패터닝된 두 강자성의 한쪽을 반대 방향으로 스핀을 정렬시켜 이용하는 것이 자기정보 저장 장치, 헤드, 센서의 적용에 일반적인 방법이다. 자화 반전은 free magnet element의 경우에는 외부 자기장과 전류에 의해 제어되지만, 반강자성에 의해 고정된 magnet element의 경우에는 국소적인 열처리(local annealing)에 의해서 가능하다. Laser에 의한 국소적인 열처리는 ferromagnetic amorphous ribbon의 실험에서 확인한 바 있다[4].

본 연구에서는 기존의 열처리와는 달리 laser 열처리를 이용하여 교환결합된 박막에서의 국소적 열처리에 따른 자기적 특성과 자기저항의 변화를 알아보고자하는데 그 목적을 두고 있다.

II. 실험방법

이온빔 스파터링 시스템을 이용하여 Ta(5 nm)/NiFe(11 nm)/FeMn(16 nm)/Ta(5 nm)과 Ta(5 nm)/NiFe(11 nm)/FeMn(16 nm)/NiFe(7 nm)/Ta(5 nm)의 다층박막을 제작하였다. Laser Annealing에 사용된 광원은 DPSS(Diode Pumped Solid State,

Nd:YAG, SHG) laser이고, 1mm×15mm 크기의 박막 시편에 600 G의 인가 자기장 하에서 532 nm 파장으로 15분 동안 조사하였다. Beam delivery는 광 화이버를 이용하였고 빔의 직경은 1 mm로 하여 Laser power를 440 mW 까지 증가시켰다. 증착시 인가 자기장(H_d)과 열처리할 때의 인가 자기장(H_a)은 서로 반대방향으로 하였으며, 측정은 각각의 Laser power에 따라 DC-4단자법과 VSM으로 측정하였다. 좀 더 부분적으로 자화 반전된 박막의 자화곡선을 관찰하기 위해 magnetic optical Kerr effect (MOKE)로 분석하였다.

III. 실험결과 및 고찰

증착시 인가된 자기장(H_d)과 열처리시 인가된 자기장(H_a)을 서로 반대방향으로 패터닝된 FeMn/NiFe 이중박막과 NiFe/FeMn/NiFe 삼중박막에 조사하였다. Laser power는 400 mW까지 증가시켜 관찰하였다.

Fig. 1은 각각 Laser power에 따라 (a) FeMn/NiFe 이중박막과 (b) NiFe/FeMn/NiFe 삼중박막에서 자기저항의 변화를 보여주고 있다. Fig. 1(a)에서 보여주듯이 Laser를 이용한 국소적 열처리를 하지 않았을 때의 자기저항비와 교환결합력(H_{ex})은 각각 0.9%와 +87 Oe 이었다. 그러나 Laser 열처리의 power가 200 mW 일 때부터 음의 자기장인 -63 Oe에서 MR 피크가 나타나기 시작하였다. Laser power를 400 mW까지 증가시켰을 때 양의 자기장 방향의 교환결합력은 +87 Oe에서 +76 Oe로 약간 감소하였고, 자기저항 비는 0.9%에서 0.1%로 감소하였다. 이때 반대쪽인 음의 자기장에 새로 나타난 피크

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

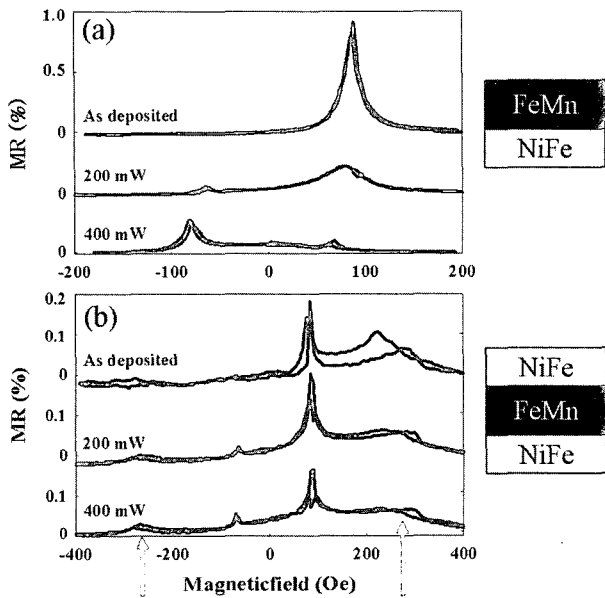


Fig. 1. MR curves as a function of a various Laser powers in the strip-patterned (a) Ta(5 nm)/NiFe(11 nm)/FeMn(16 nm)/Ta(5 nm) and (b) Ta(5 nm)/NiFe(11 nm)/FeMn(16 nm)/NiFe(7 nm)/Ta(5 nm) films.

는 -63 Oe에서 -80 Oe로 교환결합력이 증가하였으며, 자기저항 비는 0.3%로 증가하였다. 즉 국소적인 Laser 열처리 전의 MR 피크(양의 자기장)에 비해 400 mW에서 열처리 후의 반대편(음의 자기장)에서 MR 피크의 크기는 약 35% 정도만 반전되고 나머지는 반전되지 않았는데, 이는 국소적인 Laser 열처리를 하였기 때문이다. 결국, 반강자성체인 FeMn에 의해 속박된 NiFe 박막 중에 Laser 열처리에 의해 일부는 자화반전 되었고 나머지부분은 원래의 속박된 방향으로 자화 상태를 가지고 있음을 알 수 있다. Laser 열처리를 이용하여 NiFe/FeMn 박막에서 교환결합된 자기이방성을 국소적으로 자화반전시킬 수 있음을 보여주고 있다.

Fig. 1(b)은 NiFe/FeMn/NiFe 삼중박막을 국소적 Laser 열처리하여 속박된 자기이방성의 자화를 국소적으로 반전시키는 것을 보여주고 있다. 앞의 이중박막과 마찬가지로, 400 mW의 laser power에서 FeMn에 의해 교환결합된 아래층의 NiFe(11 nm)는 음의 자기장인 -75 Oe에서 MR 피크가 발생하였으며, 여기서 국소적 자화반전에 의해 발생한 음의 MR 피크가 NiFe/FeMn 이중박막 보다 작게 자화 반전되어 음의 피크가 작은 것은 삼중박막의 박막 두께가 상대적으로 두껍기 때문으로 생각된다. 또한 FeMn에 의해 교환결합된 위층인 NiFe(7 nm)는 자화 반전된 MR 피크가 -260 Oe에서 약하게 나타났다.

Fig. 2(a)는 Fig. 1에서와 같은 FeMn/NiFe 이중박막과 NiFe/FeMn/NiFe 삼중박막에서 패터닝된 시편의 길이 방향에

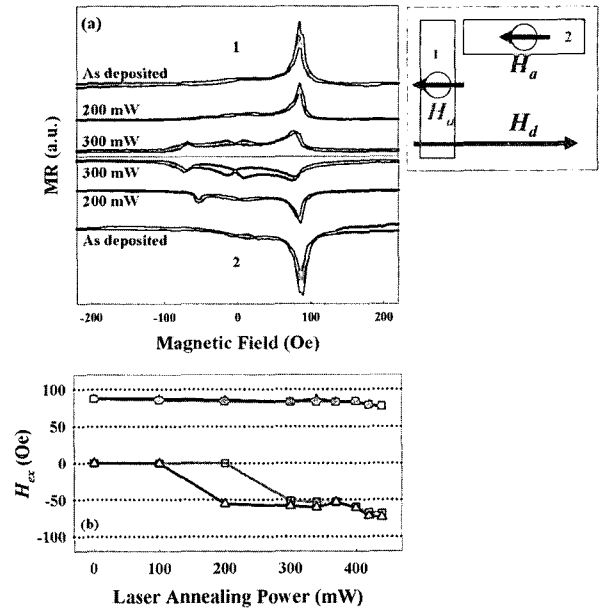


Fig. 2. (a) MR curves of Laser annealed samples at as-deposited, 200 mW, and 440 mW annealed films, where 1 is perpendicular and 2 is parallel for an applied magnetic field direction. (b) H_{ex} plotted as a function of laser annealing power, where the direction of strip is perpendicular (square) and is parallel (triangle) for a applied field direction. Here open squares and triangles are the local magnetization reversal H_{ex} 's value.

대해 Laser 열처리 시 외부자기장(H_a)을 수직방향으로 할 때와 수평으로 인가할 때 MR 곡선의 차이를 보여주고 있다. 여기서 Laser Power는 각각 0, 200, 300 mW에서의 자기저항 곡선을 측정하였다. Fig. 2(b)는 패터닝된 시편의 길이 방향과 인가된 자기장 방향(H_a) 서로 수직일 때(■)와 수평일 때(▲) Laser power에 따른 교환결합력을 나타내었으며, Symbol Δ 와 □는 국소적인 Laser 열처리에 따른 자화반전된 NiFe 박막의 부분의 음의 교환결합력 세기 변화를 보여주고 있다. Fig. 2(a)의 2번 시편인 인가 자기장에 수직의 strip 패터닝 시편의 경우 200 mW에서 반대편 자화 반전된 MR 피크가 생겨났으나, 수평방향으로 strip 패터닝된 1번 시편의 경우에는 200 mW에서 반대편 MR 피크가 나타나지 않고, 300 mW에서 나타났다. 이것은 두 시편의 자화반전의 경향이 시편의 모양 차이에 따른 반자기장(demagnetization)효과로 각각 국소적으로 다른 자화반전된 자구벽 구조(domain wall structure)를 가진다는 것을 보여주고 있다. 즉, 2번 시편의 경우 수평방향으로 자화를 반전시켜 반전된 자구와 원래 자구 사이에 자화방향이 서로 마주보고 있는 모습의 head-on-head type의 180° Block wall이 나타난다. 보통의 수평방향의 Block wall 보다 head-on-head type의 180° Block wall일 때가 전도전자들이 더 잘 산란되기 때문에 Laser 열처리에 의한 자화반전 부분의 MR 피크도 1번 시편보다 먼저 MR 피크가 생겨

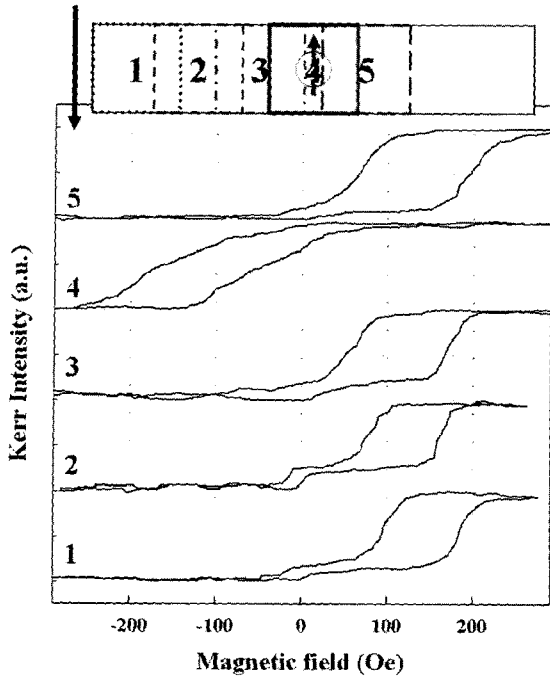


Fig. 3. Hysteresis loops for 2mm×2mm region of the 2mm×10mm strip-patterned NiFe(11 nm)/FeMn(16 nm) bilayer measured by using MOKE from left side to center of film.

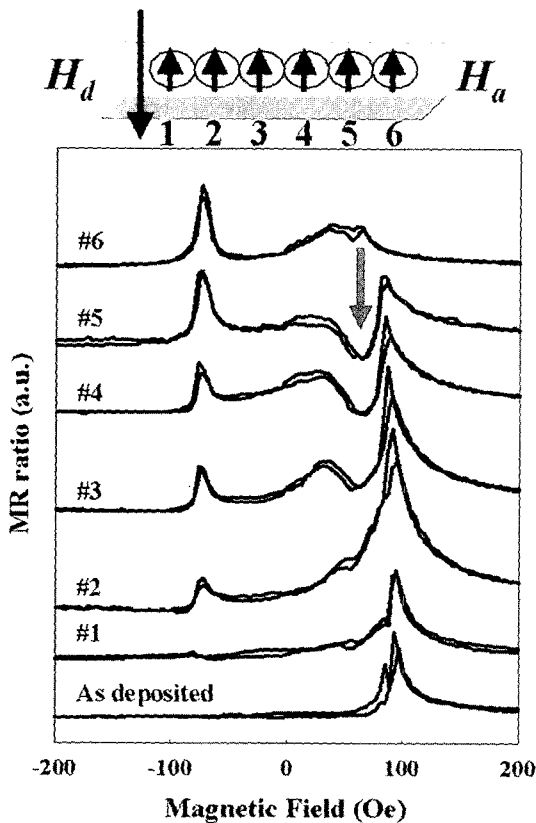


Fig. 4. The change of MR curves of the strip-patterned Ta(5 nm)/NiFe(11 nm)/FeMn(16 nm)/Ta(5 nm) films according to the region of Laser annealing expands up to 6, where the Laser power is 300 mW.

나는 것을 보여준다.

Fig. 3은 중앙에 Laser 열처리된 2mm×10mm 박막을 MOKE를 이용하여 2mm×2mm 크기로 좌에서부터 중앙으로 조금씩 이동해가면서 측정하였을 때 자기이력곡선을 보여주고 있다. 여기서 4번 영역인 중앙이외의 부분인 (1, 2, 3, 5) 영역에서는 국소적 자화반전 되기 이전 상태인 양의 자기장에서 교환결합된 자기이력곡선을 보여주고 있으며, Laser가 조사된 중앙(4)영역에서만 국소적인 자화반전이 이루어진 것을 관찰할 수 있었다. 이는 Laser 열처리에 의해 NiFe 박막의 국소적인 영역에서 자화가 반전되어 열처리된 것을 확실히 보여주고 있다.

Fig. 4는 Laser로 조사된 면적을 점차적으로 증가시켜 주었을 때 자기저항 곡선의 변화를 나타낸다. 이때 Laser로 조사한 면적 사이의 간격은 1mm 정도로 하였다. 자화 반전된 면적이 왼쪽에서 오른쪽으로 확장되어 갈수록 열처리이전의 원래 MR 피크(양의 자기장에 위치하는)는 감소하며, 반대쪽인 음의 자기장방향의 MR 피크는 점차적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 조사면적이 늘어날수록 양의 MR 피크는 복잡한 형태의 자기저항 곡선(화살표 표시)으로 변화하는 것을 알 수 있다[5]. 특히, 4~5번까지 조사된 면적이 확장되었을 때 Fig. 4의 화살표에 표시된 것처럼 negative 자기저항 값이 나타난다. 이것은 Laser 조사된 영역사이에서 90° 자구가 형성된 것으로 생각할 수 있다[6]. 다시 말해 Laser 조사 면적이 늘어날수록 부분적으로 자화반전이 일어난 영역사이에서 NiFe 자구가 90° 자구를 형성하게 되며 특히 4~5 구역에서는 이러한 자구들에 의해 negative 자기저항 값을 가지게 된다. 이는 NiFe/FeMn 박막을 자기이방성 방향에 대해 외부자기장을 각도변화에 따라 측정해보면 수평과 수직사이의 각도에서 negative MR이 발생하는 것을 알 수 있다[5]. 결국, 자기이방성의 방향이 원래 인 자기장과 반대로 형성되면서 Laser 열처리한 구역의 사이영역에서는 서로 기울어진 자구를 형성하였으며, 이에 따라 자기이방성의 방향을 분산시킨 것으로 생각된다.

IV. 결 론

Laser 열처리를 통해 NiFe/FeMn 이중박막과 NiFe/FeMn/NiFe 삼중박막에서 교환결합력의 국소적인 자화반전이 실현되었다. 인가자기장 방향에 패턴된 시편의 strip 방향이 수평일 때 전도전자들의 산란이 더 잘 일어나 자화반전이 쉽게 일어난다. Laser 열처리에 의해 국소적인 자화반전이 이루어진 것을 MOKE를 통한 국소적 자기이력곡선을 통하여 확인할 수 있었다. Laser power와 조사된 면적에 따라 국소적 자화반전을 일으키는 구역이 확장된다는 사실을 자기저항 피크의 변화를 통하여 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 지역대학우수과학자(과제번호 R05-2003-000-11200-0) 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] W. H. Meiklejohn, and C. P. Bean, Phys. Rev. **102**, 1413(1956).
- [2] E. B. Myers, D. C. Ralph, J. A. Katine, R. N. Louie, and R. A. Buhrman, Science **285**, 867(1995).
- [3] J. Z. Sun, J. Magn. Magn. Mater. **202**, 157(1999).
- [4] C. Aroca, I. Tanarro, P. Sanchez, E. Lopez, M. Vazquez, and M. C. Sanchez, Phys. Rev. B **42**, 808(1990).
- [5] C. G. Kim, H. C. Kim, B. S. Park, D. G. Hwang, S. S. Lee and D. Y. Kim, J. Magn. Magn. Mater. **198**, 33(1999).
- [6] M. F. Toney, T. Ching, and J.K. Howard, J. Appl. Phys. **70**, 6227(1991).

Local Magnetization Reversal of FeMn/NiFe Films Using Laser Annealing

S. D. Choi¹, D. H. Jin², S. W. Kim¹, 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 17 December 2004)

We have studied local magnetization reversal and magnetic properties induced by Laser annealing method in the strip-patterned Ta/NiFe/FeMn/Ta and Ta/NiFe/FeMn/NiFe/Ta multilayers fabricated by ion-beam deposition. The films were exposed to the emission of the DPSS (Diode Pumped Solid State, Nd:YAG) laser under 600 G. The laser beam intensity increased up to 440 mW. When the laser illuminated the patterned film with the power of above 200 mW, the intensity of MR peak located in +87 Oe shrunk. A new MR peak was generated at -63 Oe. When the laser power is 400 mW, the location of positive MR peak (H_{ex}) was changed slightly from +87 Oe to +76 Oe, and the MR ratio was decreased from 0.9% to 0.1%. On the other hand, the new (negative) MR peak shifted from -63 Oe to -80 Oe, with the MR ratio increased up to 0.3%. As the illuminated area expanded, the intensity of opposite MR peak increased and it of negative MR peak decreased. This proved that the local reversal of exchange biasing should be realized by laser annealing.

Key words : Laser annealing, magnetoresistance curve, local magnetization reversal, FeMn/NiFe