

Ni/Cu 인공초격자에서 NiFeCo 및 NiFe 계면 삽입층이 거대자기저항 거동에 미치는 영향

송용진 · 주승기

서울대학교 금속공학과

서울특별시 관악구 신림동 산 56-1, 151-742

(1995년 11월 3일 받음, 1995년 12월 14일 최종수정본 받음)

Ni/Cu 인공초격자의 계면에 매우 얇은 NiFeCo와 NiFe층을 삽입시 Ni/Cu 인공초격자의 자기저항 거동에 미치는 영향에 관해 연구하였다. NiFe층이 Ni/Cu 인공초격자의 계면에 삽입된 경우 6%의 자기저항과 50 Oe의 포화자장을 보였으며 이때의 자기저항곡선은 hysteresis를 거의 보이지 않았다. NiFeCo층이 삽입된 경우는 자기저항값은 7%를 보였으나 포화자장과 hysteresis가 많이 증가하였다. 교류자장원을 이용한 동적자기저항을 측정할 결과 bias 자장하에서 자기저항의 증가폭이 NiFe층을 삽입한 경우가 NiFeCo를 삽입한 경우보다 컸으며 이는 hysteresis가 작았기 때문으로 해석된다.

I. 서 론

거대자기저항 현상을 보이는 재료를 소자에 응용하기 위해서는 높은 자기저항 값외에도 낮은 포화자장 값이 요구된다. 이에 따라 거대자기저항 재료 발견후 초기에는 큰 거대자기저항값을 보이는 Fe나 Co를 기본으로 한 인공초격자가 많이 연구가 되었으나 [1, 2] 최근에는 자기적으로 연한 NiFe 등을 기본으로 한 구조에 관한 연구가 활발히 진행이 되고 있다 [3, 4, 5]. 또한 이러한 NiFe 등의 연자성체를 기본으로 한 인공초격자 구조 외에도 Ni/Cu 인공초격자의 계면에 여러가지 자성층을 삽입한 구조의 재료에서 포화자장과 자기저항값의 변화를 유도시킬 수 있음이 최근 발견되었다 [6].

실제소자로 응용하기 위해서는 작은 자장 범위 안에서 높은 저항의 변화를 보이는 것이 중요하지만 그외에도 자기저항 곡선의 hysteresis는 출력 신호를 왜곡 시키는 것으로 알려져 있으므로 출력신호의 왜곡을 막기 위해서는 재료의 hysteresis를 감소시키는 것이 필요하다 [7].

본 연구에서는 Ni/Cu 인공초격자 구조의 계면에 삽입한 재료의 종류에 따른 포화자장값과 자기저항값의 변화와 hysteresis의 변화를 조사하였으며 이러한 hysteresis가 자기저항 특성에 미치는 영향에 관해 연구하였다.

II. 실험 방법

기판으로는 Si(100) 기판과 glass가 사용되었으며 Fig. 1의 3-gun magnetron sputtering 장치를 이용하여 인공초격자를 형성하였다. 초기진공은 5×10^{-7} Torr

이하로 하였으며 각층은 3 mTorr에서 증착하였다. 바닥층으로는 50 Å의 구리가 사용이 되었으며 Ni/Cu를 기본으로 하는 인공초격자 구조의 각 계면에 매우 얇은 층의 NiFeCo와 NiFe를 형성하여 그 두께를 변화시켰을 때 자기저항, 포화자장값등에 미치는 영향을 조사하였다.

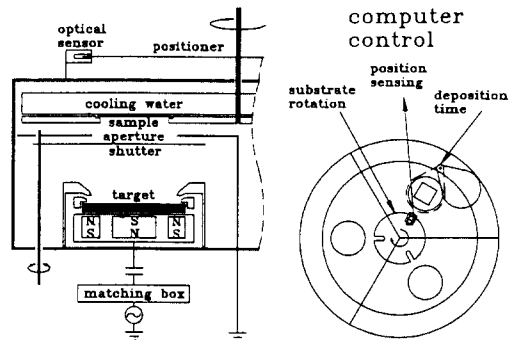


Fig 1. 3-gun magnetron sputtering system used for the fabrication of the metallic multilayers.

삽입한 NiFeCo 또는 NiFe와 Ni와의 두께의 합은 20 Å으로 고정시켰으며 구리 사잇층 두께를 19 Å부터 24 Å까지 변화시켰으며 총 적층수를 6, 12, 16, 20으로 변화시켰다. VSM을 이용하여 자기이력곡선을 측정하였고 자기저항곡선은 Fig. 2와 같이 VSM의 전자석과 4 단자법을 이용하여 측정하였다. 인공초격자 구조의 시편을 2mm × 50µm 크기로 사진식각 하여 알루미늄으로 배선한 뒤 Fig. 3에 나타낸 교류자장원을 이용하여 교류자장하

에서의 자기저항 측정을 하였다. 교류자장원과 시편의 상대적인 거리는 미세조정장치를 이용하여 조절하였으며 인가자장은 1 kHz로 가하였고 함수발생기로 부터 VCR head에 공급되는 전압의 크기를 변화시켜 시편에 인가되는 자장의 크기를 변화시켰으며 함수발생기로부터 offset 전압을 이용하여 bias 자장상태에서의 자기저항을 측정하였다. 모든 측정은 상온에서 하였다.

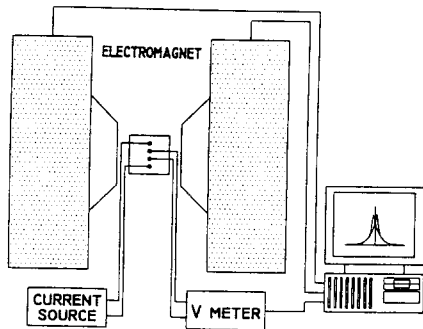


Fig 2. R-H curve measurement system. Electromagnet of VSM controlled by computer and conventional four-point probe method were used.

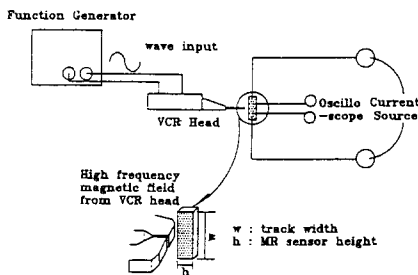


Fig 3. Dynamic magnetoresistance measurement system. VCR head and function generator were used for the generation of a. c. magnetic field.

III. 결과 및 검토

Ni/Cu 인공초격자에서 계면에 NiFeCo 또는 NiFe 자성층을 삽입한 경우 삽입된 자성층의 두께가 5 Å ~ 7 Å인 경우 포화자장을 줄이고 자기저항값을 크게 할 수 있었다 [6]. Fig. 4에는 glass위에 형성된 [Cu(x Å)/NiFeCo(5 Å)/Ni(10 Å)/NiFeCo(5 Å)]₂₀Cu(50 Å) 인공초격자의 사잇층인 구리의 두께에 따른 자기저항 곡선의 변화를 나타내었다. 최대 7% 정도의 자기저항값과 약 150

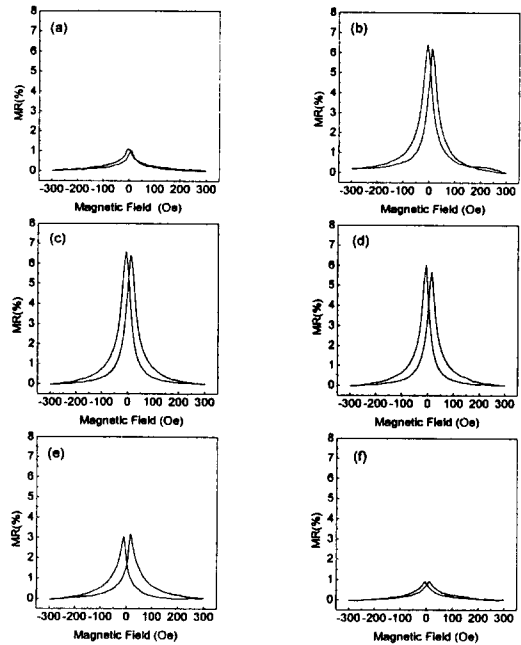


Fig 4. Magnetoresistance curve change according to the Cu spacer layer thickness. [Cu(x Å)/NiFeCo(5 Å)/Ni(10 Å)/NiFeCo(5 Å)]₂₀Cu(50 Å)|glass samples. (a) 19 Å, (b) 20 Å, (c) 21 Å, (d) 22 Å, (e) 23 Å, (f) 24 Å.

Oe의 포화자장을 나타내었다. Fig. 5에는 glass 위에 형성된 [Cu(x Å)/NiFe(7 Å)/Ni(6 Å)/NiFe(7 Å)]₂₀Cu(50 Å) 인공초격자의 사잇층인 구리의 두께에 따른 자기저항 곡선의 변화 나타내었다. [Cu(20 Å)/NiFe(7 Å)/Ni(6 Å)/NiFe(7 Å)]₂₀Cu(50 Å) 인공초격자의 경우는 약 6%의 자기저항값과 50 Oe 정도의 포화자장값을 나타내었다. 이는 계면 삽입층이 없는 Ni/Cu 인공초격자의 경우 ~2%의 자기저항과 300 Oe의 포화자장을 보인 것 [6]에 비하면 자기저항이 커지면서도 포화자장이 낮아짐과 동시에 작은 hysteresis를 보인것이다. Fig. 4와 Fig. 5에서 보듯이 Ni/Cu의 계면에 NiFeCo나 NiFe가 삽입된 경우 자기저항곡선의 모양이 많은 차이를 보인다. NiFe의 경우 NiFeCo 보다 hysteresis가 작은 것으로 나타났다. Hysteresis가 작다는 것은 고주파 신호 처리시 출력 신호의 왜곡이나 손실등이 작게된다는 장점 때문에 자기저항 센서의 제작시 NiFe를 삽입한 경우가 실용적인 측면에서 매우 바람직하다 [7].

Fig. 6에는 Si(100) 위에 형성된 [Cu(x Å)/NiFeCo(5 Å)/Ni(10 Å)/NiFeCo(5 Å)]₂₀Cu(50 Å) 구조의

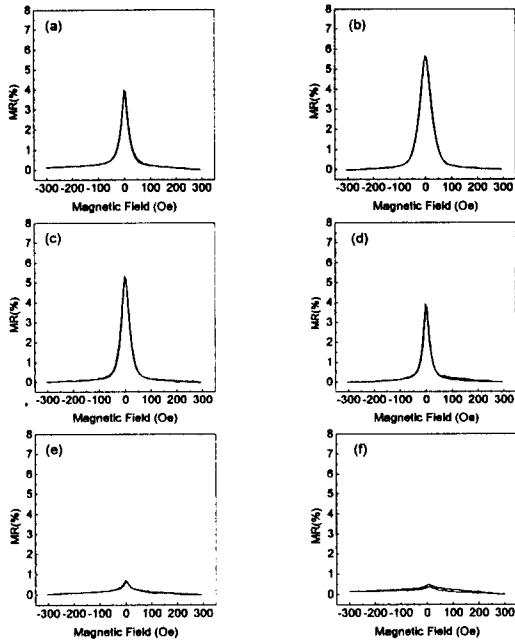


Fig 5. Magnetoresistance curve change according to the Cu spacer layer thickness. $[Cu(x\text{ \AA})/NiFe(7\text{ \AA})/Ni(6\text{ \AA})/NiFe(7\text{ \AA})]_{20}Cu(50\text{ \AA})|glass$ samples. (a) 19 Å, (b) 20 Å, (c) 21 Å, (d) 22 Å, (e) 23 Å, (f) 24 Å.

인공초격자의 사이트층 구리의 두께에 따른 자기저항 곡선의 변화를 나타내었다. Fig. 4와 비교할 때 Si(100)이나 glass 등의 기판의 영향을 받지 않음을 알 수 있으며 NiFe를 계면에 삽입한 경우도 glass나 Si(100) 위에서 거의 같은 자기저항 특성을 보였다. 실제 자기저항소자의 경우 자기저항층이 자기차폐층등과의 집적으로 Al_2O_3 등의 절연막 위에 형성하게 되는데 glass 위에서 이러한 자기저항 특성을 얻을 수 있었던 것으로 이러한 재료가 소자집적공정에 응용하기에 유리하다는 것을 알 수 있다. 이러한 계면에 삽입층이 있는 Ni/Cu 인공초격자를 x-ray 구조분석 결과 특정한 결정방위를 보이지 않았으며 자기적 특성을 전 결과 면내에서 자기이방성을 보이지 않았다.

Ni/Cu의 계면에 NiFeCo나 NiFe가 삽입된 경우 각각의 구조에서 최대자기저항 값을 보인 $[Cu(21\text{ \AA})/NiFeCo(5\text{ \AA})/Ni(10\text{ \AA})/NiFeCo(5\text{ \AA})]_{20}Cu(50\text{ \AA})|glass$ 시편과 $[Cu(20\text{ \AA})/NiFe(7\text{ \AA})/Ni(6\text{ \AA})/NiFe(7\text{ \AA})]_{20}Cu(50\text{ \AA})|glass$ 인공초격자의 $M-H$ 곡선을 Fig. 7에 나타내었다. 각각의 곡선을 Fig. 4와 Fig. 5의 자기저항곡선($R-H$)과 비교하면 H_c , H_s 등이 잘 일치

한다. 이러한 $M-H$, $R-H$ 곡선에서 구한 H_s (포화자장), M_s (포화자화), t_F (자성층의 두께)를 이용하여 coupling energy ($=J$) 값을 계산하면 $J = H_s \times M_s \times t_F / 4$ 의 식에 의해서 $[Cu(21\text{ \AA})/NiFeCo(5\text{ \AA})/Ni(10\text{ \AA})/NiFeCo(5\text{ \AA})]_{20}Cu(50\text{ \AA})|glass$ 시편의 경우 0.00765 erg/cm^2 , $[Cu(20\text{ \AA})/NiFe(7\text{ \AA})/Ni(6\text{ \AA})/NiFe(7\text{ \AA})]_{20}Cu(50\text{ \AA})|glass$ 인공초격자의 경우 0.00325 erg/cm^2 가 된다. 이는 NiFe에 Co를 첨가한 NiFeCo를 Ni/Cu 인공초격자의 계면에 삽입한 경우가 NiFe를 삽입한 경우보다 반강자성적 결합력이 큰 것을 의미한다. 이 값은 Si(100) 기판 위에 형성한 NiFe 바닥층을 사용한 NiFe/Cu 인공초격자[3]의 경우 Cu가 20 Å인 경우 계산하면 약 0.001 erg/cm^2 가 나오며 이때의 자기저항값이 1% 미만에 비교하면 상당히 큰 값이다. Fig. 8에는 glass 위에 형성한 $[Cu(20\text{ \AA})/NiFe(7\text{ \AA})/Ni(6\text{ \AA})/NiFe(7\text{ \AA})]_x|Cu(50\text{ \AA})|glass$ 시편의 적층수에 따른 자기저항 곡선을 나타내었다. 적층수가 줄어들면서 자기저항 값은 줄었으나 자기저항곡선의 모양이나 hysteresis는 변화하지 않았다.

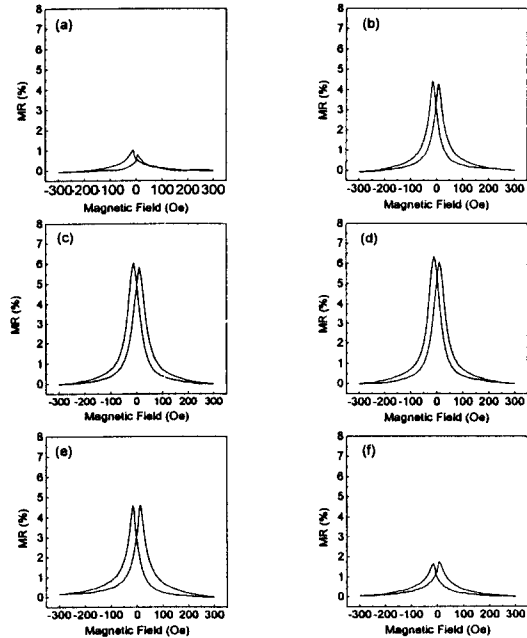


Fig 6. Magnetoresistance curve change according to the Cu spacer layer thickness. $[Cu(x\text{ \AA})/NiFeCo(5\text{ \AA})/Ni(10\text{ \AA})/NiFeCo(5\text{ \AA})]_{20}Cu(50\text{ \AA})|Si(100)$ samples. (a) 19 Å, (b) 20 Å, (c) 21 Å, (d) 22 Å, (e) 23 Å, (f) 24 Å.

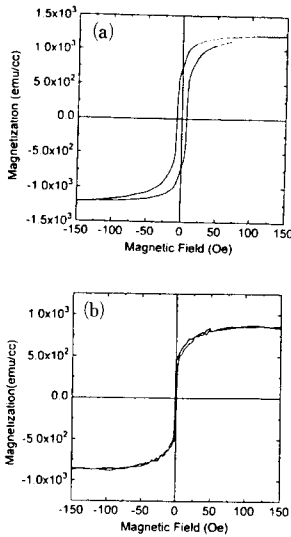


Fig 7. M-H curves of (a) $[Cu(21 \text{ \AA}) / NiFeCo(5 \text{ \AA}) / Ni(10 \text{ \AA}) / NiFeCo(5 \text{ \AA})]_{20} Cu(50 \text{ \AA})$ on glass and (b) $[Cu(20 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA}) / Ni(6 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA})]_{20} Cu(50 \text{ \AA})$ on glass, which show maximum magnetoresistance values in Fig. 4 and Fig. 5.

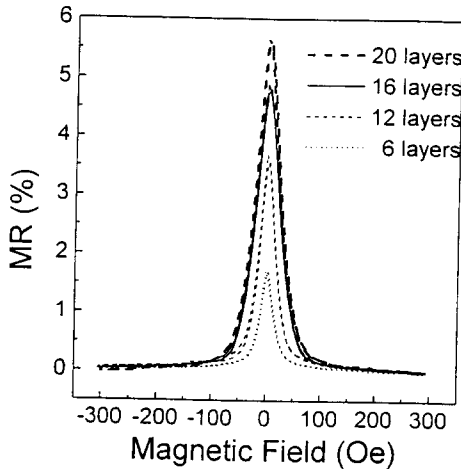


Fig 8. Magnetoresistance curve change according to the number of stacked modules. $[Cu(20 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA}) / Ni(6 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA})]_x Cu(50 \text{ \AA}) | glass$ samples.

$[Cu(21 \text{ \AA}) / NiFeCo(5 \text{ \AA}) / Ni(10 \text{ \AA}) / NiFeCo(5 \text{ \AA})]_{20} Cu(50 \text{ \AA}) | Si(100)$ 시편과 $[Cu(20 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA}) / Ni(6 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA})]_{20} | Cu(50 \text{ \AA}) | Si(100)$ 인 공초격자를 $2mm \times 50\mu m$ 의 크기로 사진식각후 교류자장원으로 자장의 크기를 변화시켜 가며 측정한 자기저항의

변화를 Fig. 9에 나타내었다. 계면에 NiFe를 삽입한 경우 전체 자기저항 값은 작았지만 50Oe 이하의 작은 자장하에서는 자기저항값이 더 컸다. Fig. 10에는 교류자장원을 이용하여 외부에서 가하는 자장의 크기를 $\pm 15 Oe$ 으로 고정하고 이에 offset bias 자장을 가한 경우 bias 자장에 따른 자기저항의 거동의 변화를 나타내었다. 두 시편 모두 bias

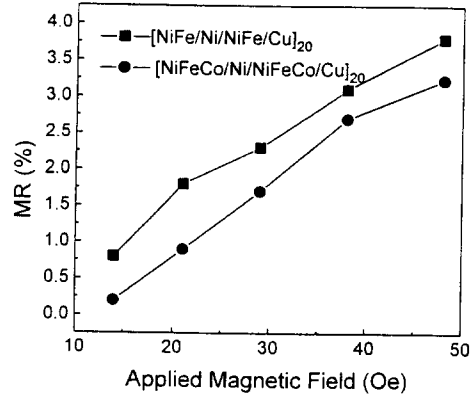


Fig 9. Dynamic output change with respect to applied magnetic field. $2mm \times 50m$ stripes of $[Cu(21 \text{ \AA}) / NiFeCo(5 \text{ \AA}) / Ni(10 \text{ \AA}) / NiFeCo(5 \text{ \AA})]_{20} Cu(50 \text{ \AA}) | Si(100)$ and $[Cu(20 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA}) / Ni(6 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA})]_{20} Cu(50 \text{ \AA}) | Si(100)$ were used for the measurement. (1 kHz field was applied).

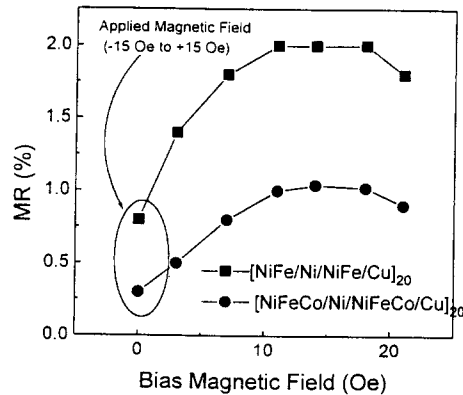


Fig 10. Dynamic output change with respect to biased magnetic field. Bias magnetic field was superimposed on the main magnetic field of $\pm 15 Oe$. $2mm \times 50\mu m$ stripes of $[Cu(21 \text{ \AA}) / NiFeCo(5 \text{ \AA}) / Ni(10 \text{ \AA}) / NiFeCo(5 \text{ \AA})]_{20} Cu(50 \text{ \AA}) | Si(100)$ and $[Cu(20 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA}) / Ni(6 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA})]_{20} Cu(50 \text{ \AA}) | Si(100)$ were used for the measurement. (1 kHz field was applied).

자장이 약 15 Oe인 경우 (자장이 0 Oe~30 Oe인 영역)에 최대자기저항 값을 보였으며 NiFe를 삽입 한 경우가 더욱 bias에 따른 자기저항의 증가가 더 컸다. 이는 NiFeCo를 삽입한 경우 hysteresis에 의한 손실 때문에 NiFe를 삽입한 경우 보다 bias에 의해 인가되는 자장의 영역 안에서 자기저항의 변화가 작기 때문이다.

IV. 결 론

1. Ni/Cu 인공초격자 구조에 NiFeCo를 삽입한 경우 최대 7%의 자기저항과 약 150 Oe의 포화자장을 얻었으며 NiFe를 삽입한 경우는 hysteresis가 거의 없는 50 Oe 이하의 포화자장과 6% 자기저항값을 얻을 수 있었다.
2. $[Cu(20 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA}) / Ni(6 \text{ \AA}) / NiFe(7 \text{ \AA})]_{20} | Cu(50 \text{ \AA}) | glass$ 시편의 반강자성적 결합에너지는 00325 erg/cm^2 였다.
3. NiFeCo나 NiFe 삽입층을 가진 Ni/Cu 인공초격자 구조의 시편에서는 면내에 자기이방성이 존재하지 않았으며 hysteresis는 적층수에 영향을 받지 않았다.
4. 동적자기저항 측정시 offset 전압을 이용하여 bias 자장을 가한 경우 NiFe를 삽입한 경우가 NiFeCo를 삽입한 경우보다 큰 출력의 증가를 보였으며 이는 NiFe를 삽입한 경우가 작은 hysteresis를 가지는 것에 기인한다.

감사의 글

본 연구는 한국통신의 장기기초 연구과제 연구비와 과학재단의 우수연구센터인 서울대학교 신소재 박막가공 및 결정성장센터의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] M. N. Baibichi, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuzet, A. Friederich and J. Chazelas, Phys. Rev. Lett. **61**, 2472(1988).
- [2] K. -I. Min and S. -K. Joo, J. Appl. Phys. **75**, 4632(1994).
- [3] S. S. P. Parkin, Appl. Phys. Lett. **60**, 512 (1992).
- [4] B. Dieny, V. S. Speriosu, S. Metin, S. S. P. Parkin, B. A. Gurney, P. Baumgart and D. R. Wilhoit, J. Appl. Phys. **69**, 4774(1994).
- [5] T. L. Hylton, K. R. Coffey, M. A. Parker and J. K. Howard, Science **261**, 1021(1993).
- [6] 이후산, 석사학위논문, 서울대학교 (1995).
- [7] K. Noguchi, S. Araki, T. Chou, D. Miyauchi, Y. Honda, A. Kamijima, O. Shinoura and Y. Narumiya, J. Appl. Phys. **75**, 6379(1994).

Effects of NiFeCo or NiFe Insertion Layers on the Giant Magnetoresistance Behavior of Ni/Cu Artificial Superlattice

Yong-Jin Song and Seung-Ki Joo

Department of Metallurgical Engineering, Seoul National University

San 56-1, Shillim-dong Kwanak-ku, Seoul 151-742, Korea

(Received 3 November 1995, in final form 14 December 1995)

Ultra thin layers of NiFeCo or NiFe were inserted at the interfaces of Ni and Cu to form a multilayer structure. In case of inserting a NiFe layer, the magnetoresistance was about 6%, the saturation magnetic field was 50 Oe and the hysteresis of *R-H* (resistance-magnetic field) was very small. In case of inserting a NiFeCo layer, the magnetoresistance increased to about 7% but the saturation magnetic field and hysteresis were also increased. The increase of the output under biased magnetic field was much larger in case of inserting a NiFe layer because of relatively smaller hysteresis in *R-H* behavior.