

## [FeNi/Cu/CoFe(Co)/Cu]<sub>N</sub> Spin-Valve 다층박막의 자기저항 특성

김미양 · 이정미 · 최규리 · 오미영 · 이장로

숙명여자대학교 물리학과  
서울특별시 용산구 청파동 2가, 140-742

(1999년 2월 2일 받음, 1999년 2월 22일 최종수정본 받음)

DC magnetron sputtering 방법으로 Corning glass 기판 위에 기저층을 Cr과 Ta로 바꾸어가면서 보자력이 다른 Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>와 CoFe(Co)를 이용하여 buffer/[Ni<sub>81</sub>Fe<sub>19</sub>/Cu/CoFe(Co)/Cu]<sub>N</sub>의 형태로 spin-valve 다층박막을 제작하여 자기저항비의 기저층 종류와 두께, 비자성층 Cu층 두께, 연자성층 NiFe층 두께, 사이층 박막 반복 적층횟수, 기판온도 및 열처리 온도 의존성을 조사하였다. 제작된 시료의 자기저항비는 4탐침법으로 측정하였으며 이들의 구조, 자기적 성질을 조사하기 위해 X-선 회절분석, 시료진동형 자기계(VSM) 분석을 하였다. Cr 기저층 두께가 50Å, Cu 두께 50Å, NiFe 및 Co 두께가 각각 20Å이며 사이층 박막 반복 적층횟수 10인 경우에 기판온도가 90°C 일때 극대 자기저항비 및 보자력은 각각 7.5 % 및 140 Oe를 보이다가 기판온도 상승에 따라 감소하였다. 자기장 감응도(MR slope)는 열처리 온도 150 °C 까지는 0.25 %/Oe을 유지하다가 200°C에서는 0.03 %/Oe로 감소하였으며 열안정성을 결정하는 주요한 요인은 NiFe 자성층의 연자기 특성 저하라는 것을 확인할 수 있었다.

### I. 서 론

Fe/Cr 인공격자의 거대자기저항(GMR) 효과[1]가 발견된 이래, Co/Cu[2], Co/Ag[3]등의 2원계 인공격자의 MR에 관한 특성은 기술적 및 물성 물리학적 관점에서 큰 흥미를 불러 일으켰었다. 또한 낮은 자기장에서서의 GMR효과를 얻기 위하여 CoFe/Cu, NiFe/Cu등의 2원계 인공격자와 NiFe/Cu/Co[4], NiFeCo/Cu/Co[5]등의 3원계 인공격자의 GMR에 대한 연구가 활발히 진행되었으나 그 중에서, 보자력이 다른 두 종류의 자성층 사이에 비교적 두꺼운 Cu층을 사이층으로 하여, 자화과정의 어떤 자기장 범위에서 스핀의 반평행 상태를 구현할 수 있는 NiFe/Cu/Co 3원계 인공격자는 낮은 자기장에서 높은 GMR을 보임으로 인해서 MR 헤드나 MR 센서등으로의 응용이 기대되고 있다. MR 헤드나 MR 센서등으로의 응용을 고려한 경우, 제조공정에 있어서 불가피한 열공정이 수반되기 때문에 인공격자의 열안정성은 매우 중요한 문제가 된다. 본 연구에서는 spin-valve를 나타내는 샌드위치 박막을 반복하여 적층함으로써 MR 효과의 극대화를 기하기 위하여 DC magnetron sputtering 방법으로 기저층을 Cr, Ta로 달리하면서 [NiFe/Cu/CoFe(Co)/Cu]<sub>N</sub>의 형태로 spin-valve 다층박막을 제작하여 자기저항비의 비자성층 Cu층 두께, 연자성층 NiFe 두께, 기저층 두께, 사이

층 박막 반복 적층횟수, 기판온도 및 열처리 온도 의존성을 조사하였다.

### II. 실험 방법

spin-valve 다층박막을 제작하는데 사용한 스퍼터링 장치는 4개의 서로 다른 타겟을 사용하는 dc magnetron gun을 장착하였으며, 이들 gun에서 발생한 플라즈마가 서로 간섭하는 것을 방지하기 위하여 분리막을 설치하여 내부를 각각의 영역으로 분할하였다. 기판이 부착된 회전판을 회전시키기 위한 스텝핑 모터와 셔터 개폐 장치는 컴퓨터로 제어하였고 타겟과 기판 사이의 거리는 약 8 cm 정도를 유지하였다. 증착물은 소각 (small angle) X-선 회절에 의해 결정가능한 박막층의 두께에 의해 교정하였다. spin-valve 다층박막을 제작하기 위한 기판으로는 Corning glass를 사용하였으며 이것을 증류수 속에서 초음파 세척한 후 cleaning 용액 (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>+H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)에 담갔다가 건져낸 후 알코올로 세척하여 오염물질을 제거하였다.

기저층과 샌드위치 박막의 각 층은 초기 진공도 1×10<sup>-6</sup> Torr 이하, 증착시 Ar 압력은 5×10<sup>-3</sup> Torr에서 스퍼터링함으로써 증착하였으며 투입전력은 경우에 따라 1.5~2.0 Å/s 범위의 증착속도를 얻을 수 있도록 선택하여 인가하였다.

한편, spin-valve형 다층박막 제작시 비자성층인 Cu 두께를 달리하면서 Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-tÅ/CoFe(Co)-20Å/Cu-tÅ]<sub>10</sub> 및 Ta-50Å/[NiFe-20Å/Cu-tÅ/CoFe(Co)-20Å/Cu-tÅ]<sub>10</sub>, (t=20~60Å) 박막을 제작하여 자기저항비를 관찰하였으며, 기저층 종류와 두께에 따른 자기저항비의 변화를 살펴보기 위하여 Cr-tÅ/[NiFe-20Å/Cu-50Å/CoFe(Co)-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> 및 Ta-tÅ/[NiFe-20Å/Cu-50Å/CoFe(Co)-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub>, (t=0~100 Å) 다층박막을 제작하였다 또한 NiFe층 두께를 변화시키면서 Cr-50Å/[NiFe-tÅ/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub>, (t=5~30 Å) 다층박막을 제작하여 자기저항비의 연자성층 두께 의존성을 조사하였다. 사이층 박막 반복 적층횟수에 따른 자기저항비를 관찰하기 위하여 적층횟수를 달리하면서 Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>N</sub> 및 Ta-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>N</sub>, (N=1~20)을 제작하였다. 또한 Ts = 50~100 °C 까지 변화시키면서 Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub>을 제작하여 자기저항비의 기판온도 의존성을 조사하였다.

다층박막의 자기저항 효과를 측정하기 위하여 전자석을 이용하여 측정시스템을 구성하였다. 전류의 인가와 저항을 동시에 측정할 수 있는 multimeter(HP 34401)를 이용하여 외부 자기장에 따른 자기저항 곡선을 얻기 위하여 상온에서 4탐침법으로 -500~500 Oe 범위의 자기장을 인가하였다. 이때 자기저항 측정용 시료는 얇은 노치판 mask를 사용하여 patterning하였다.

spin-valve 다층박막의 자기적 특성은 VSM을 사용하여 상온에서 500 Oe의 자기장하에서 수평방향으로 측정하여 자화-자기장 이력곡선(M-H hysteresis curve)을 얻어 분석하였다. 또한 제작된 spin-valve 다층박막에 대한 주기성 및 결정 구조는 소각 및 고각 XRD를 사용하여 조사하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

보자력이 다른 두 종류의 자성층 사이에 비교적 두꺼운 비자성 Cu 사이층으로 구성되는 spin-valve계에서, 연자성층이 NiFe이고보자력이 이보다 큰 CoFe 및 Co 자성층으로 각각 구성되는 Cr-50Å/[NiFe-10Å/Cu-30Å/CoFe-10Å/Cu-30Å]<sub>10</sub>과 Cr-50Å/[NiFe-10Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin-valve 다층박막에 대하여 인가 자기장을 -500~500 Oe로 변화시키면서 측

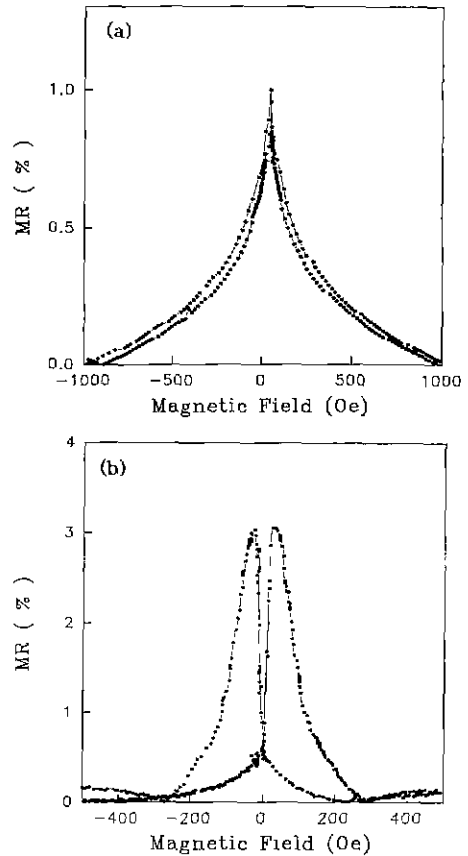


Fig. 1. MR curves of (a) Cr-50Å/[NiFe-10Å/Cu-30Å/CoFe-10Å/Cu-30Å]<sub>10</sub> and (b) Cr-50Å/[NiFe-10Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin valve multilayers.

정한 자기저항 곡선을 Fig 1(a) 및 (b)에 나타내었다. 자성층으로 NiFe와 Co층을 사용한 Cr-50Å/[NiFe-10Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin-valve 다층박막의 경우에는 전형적인 spin-valve MR 곡선을 보이는 반면 NiFe와 CoFe층을 사용한 Cr-50Å/[NiFe-10Å/Cu-30Å/CoFe-10Å/Cu-30Å]<sub>10</sub>의 경우에는 자기이력 현상이 경미한 2원계 다층박막의 MR 곡선의 형태를 보였다. 이 곡선은 NiFe와 CoFe층 간의 보자력 차이가 크지 않아서 spin-valve계를 이루지 못하여 자기저항 곡선이 큰 이력현상을 보이지 않으며 자기저항비도 적은것이라 생각한다. CoFe층 및 Cu층 두께를 달리하면서 제작한 시료의 경우도 비슷한 양상을 보여 CoFe 자성층을 사용하는 시료제작은 예비 실험의 결과를 토대로 유보하였다

Fig. 2는 기저층으로 Cr과 Ta를 사용하고 자성층으로 NiFe층과 Co층을 사용하는 Cr-50Å/[NiFe-20Å/

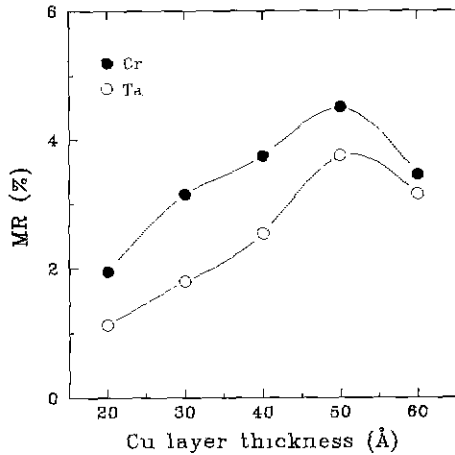


Fig. 2. MR as a function of the thickness of copper layer for Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-tÅ/Co-20Å/Cu-tÅ]<sub>10</sub> and Ta-50Å/[NiFe-20Å/Cu-tÅ/Co-20Å/Cu-tÅ]<sub>10</sub> spin valve multilayers.

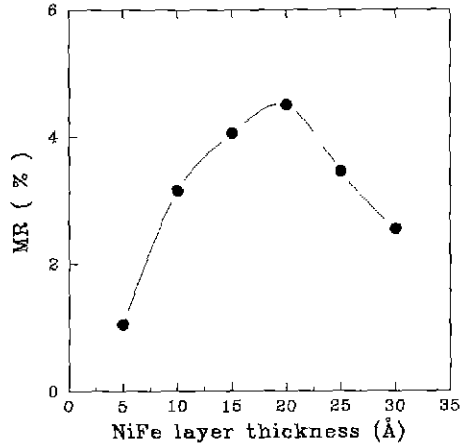


Fig. 3. MR as a function of the thickness of NiFe layer for Cr-50Å/[NiFe-tÅ/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin valve multilayers.

Cu-tÅ/Co-20Å/Cu-tÅ]<sub>10</sub> 및 Ta-50Å/[NiFe-20Å/Cu-tÅ/Co-20Å/Cu-tÅ]<sub>10</sub> spin-valve 다층박막에 대한 자기저항비의 Cu층 두께 의존성을 나타낸 것이다. 자기저항비가 Cu층 두께 50Å일 때 피크값을 가지는 것은 교오토 대학 그룹의 결과[6]와 일치하고 있다. 기저층이 Cr인 경우가 Ta인 경우보다 Cu층 두께 전 영역에 걸쳐 자기저항비는 약간 큰 값을 나타내었다. Cu층이 얇은 영역에서 자기저항비가 감소한 것은 2종류의 자성층이 강자성적으로 결합하여 자화 반전이 독립적으로 이루어지지 않았기 때문이라 생각한다. Cu층 두께가 50Å보다 증가하는 경우 자기저항비의 감소는 Cu층의 두께가 전도전자의 평균 자유행로와 비슷해지거나 더 커져 자화배열의 변화에 따라 산란효과가 달라지는 두 자성층을 모두 통과하는 전자가 50Å의 Cu층 보다 상대적으로 감소하여 MR비가 감소하는 것으로 생각된다.

Fig. 3은 NiFe층 두께를 5Å에서 30Å까지 변화시키면서 제작한 Cr-50Å/[NiFe-tÅ/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin-valve 다층박막의 자기저항비를 측정된 결과를 나타낸 것이다. NiFe층 두께가 증가함에 따라 자기저항비는 증가하여 NiFe층 두께가 20Å일 때 4.5%의 극대 자기저항비를 나타낸 후 그 이상의 두께에서는 감소하는 경향을 나타내었다. NiFe층 두께가 20Å 이상의 영역에서는 NiFe층과 Co층 사이의 자기적 상호작용이 크게되어 독립적인 NiFe층의 자화반전이 이루어지지 않았기 때문이라고 생각한다.

Fig. 4는 Cr-tÅ/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-

50Å]<sub>10</sub>과 Ta-tÅ/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin-valve 다층박막의 자기저항비를 Cr과 Ta 기저층 두께의 함수로서 나타낸 것이다. 두 경우 모두 기저층 두께가 증가함에 따라 50Å까지는 자기저항비가 증가한 후 그 이상의 두께에서는 다소 감소하였다. 이것은 Cr, Ta 기저층 두께가 50Å 이하인 경우에는 각 층 계면의 명확성과 각 층의 평활성을 제공하는 기저층[7]으로서의 역할을 충분히 하지 못하여 자기저항비의 감소를 초래하는 것이라 생각한다.

Fig. 5는 Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>N</sub> spin-valve 다층박막의 자기저항비의 사이층 박

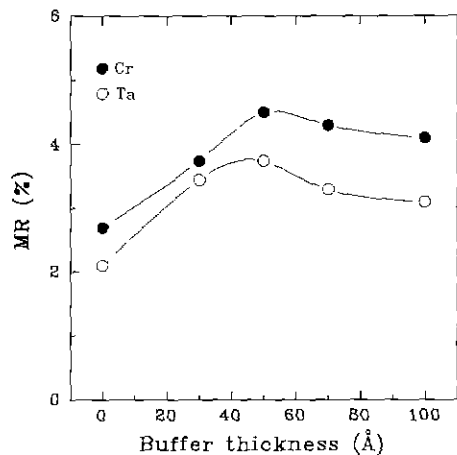
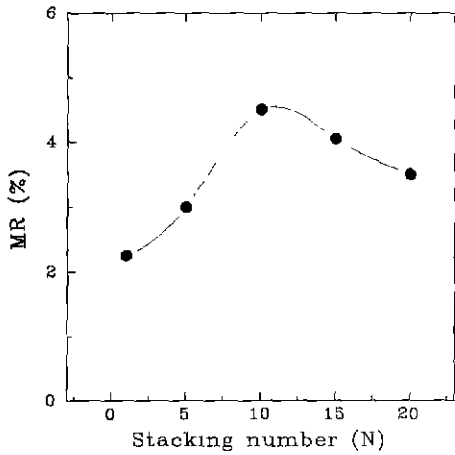


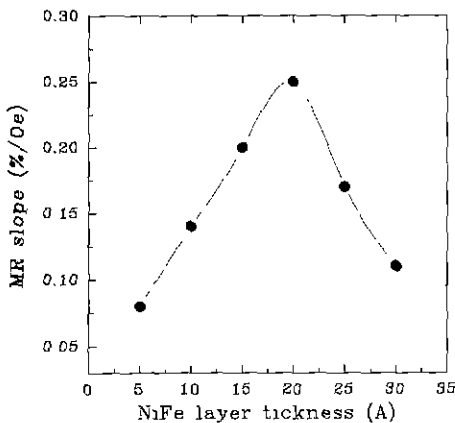
Fig. 4. MR as a function of the thickness of buffer layer for Cr-tÅ/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> and Ta-tÅ/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin valve multilayers.



**Fig. 5.** MR as a function of the stacking number for Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>N</sub> spin valve multilayers.

막 적층횟수(N) 의존성을 나타낸 것이다. 자기저항비는 횟수가 증가함에 따라 점점 증가하여 N=10 일 때 극대값 4.5 %를 보였다. 이것은 N=10까지는 다층박막의 구조가 점차 개선되어 적층 계면의 명확성이 증대되기 때문이라고 생각된다. 횟수 N=10 보다 많아지면 자기저항비는 점점 감소하였다. Ta 기저층인 경우는 Cr 기저층 시료의 경우와 비슷한 경향을 보였다.

Fig. 6은 Cr-50Å/[NiFe-tÅ/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin-valve 다층박막에서 MR slope의 NiFe층 두께 의존성을 조사한 결과이다. 여기에서 Co층의 자기적 특성은 그 두께가 변해도 zero 자기장 근방에서는 큰 변화가 없기 때문에 20Å로 고정했다. NiFe 층이

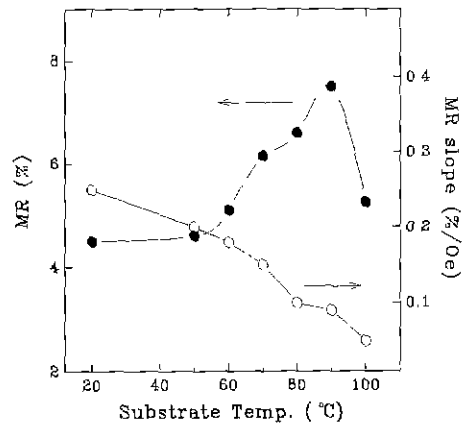


**Fig. 6.** MR slope as a function of the thickness of NiFe layer for Cr-50Å/[NiFe-tÅ/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin valve multilayers.

20Å일 때 극대값을 나타낸 이유에 대해서는 2가지를 고려할 수 있다. 첫번째는 Co층 및 NiFe층 각각의 자화의 총량이, 층 두께가 각각 20Å과 20Å일 때 같은 정도로 되어, 그 결과 전자가 가장 효율 좋은 스핀 의존 산란을 일으킬 수 있기 때문이다. 두 번째는 Co-NiFe층 사이의 자기적 상호 작용의 영향을 고려할 때 이 시료들의 Co층과 Cu층 두께를 일정하게 한 상태에서 NiFe층 두께가 증가하면 Co층의 자화가 포화되는 자기장 및 보자력이 연자성 NiFe의 영향을 받아 저자기장쪽으로 이동하는 결과가 되어 즉, NiFe층 두께가 두꺼운 경우에는 Co층과의 자기적 상호 작용이 크게 되어 NiFe층 독립의 자화반전이 근방하여 MR slope이 감소하는 것이라 생각한다.

Fig. 7은 Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin-valve 다층박막에 대한 자기저항비 및 MR slope의 기판온도(Ts) 의존성을 나타낸 것이다. 기판온도가 증가함에 따라 자기저항비는 점점 증가하여 90 °C에서 극대 자기저항비 7.5 %를 나타낸 후 감소하였으나 MR slope은 기판온도가 증가한 경우가 상온에서 보다 감소하는 경향을 나타내었다. 기판온도 90 °C에서 제작된 시료의 경우에 극대 자기저항비를 나타내는 것은 일반적으로 금속막에서는 기판 온도가 높아지면 공격자등의 격자 결함이 작아지게되어 생기는 현상이라 생각한다 MR slope의 감소는 기판온도의 증가에 따라 극대 자기저항비를 나타내는 자기장 값이 고자기장쪽으로 이동함으로써 생긴 결과이다

Fig. 8은 Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-



**Fig. 7.** MR and MR slope as a function of the temperature of substrates during preparation of Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin valve multilayers.

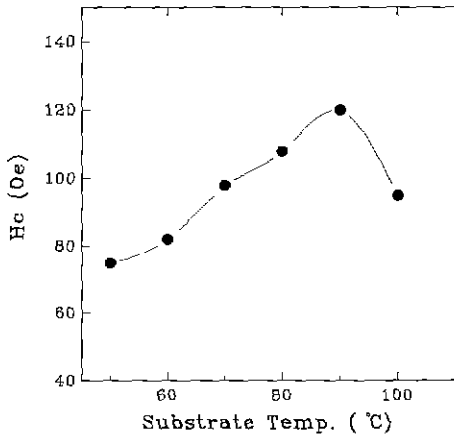


Fig. 8.  $H_c$  as a function of the temperature of substrates during preparation of Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin valve multilayers.

50Å]<sub>10</sub> spin-valve 다층박막에 대하여 VSM 측정 결과로부터 얻은 보자력의 기판온도 의존성을 나타낸 것이

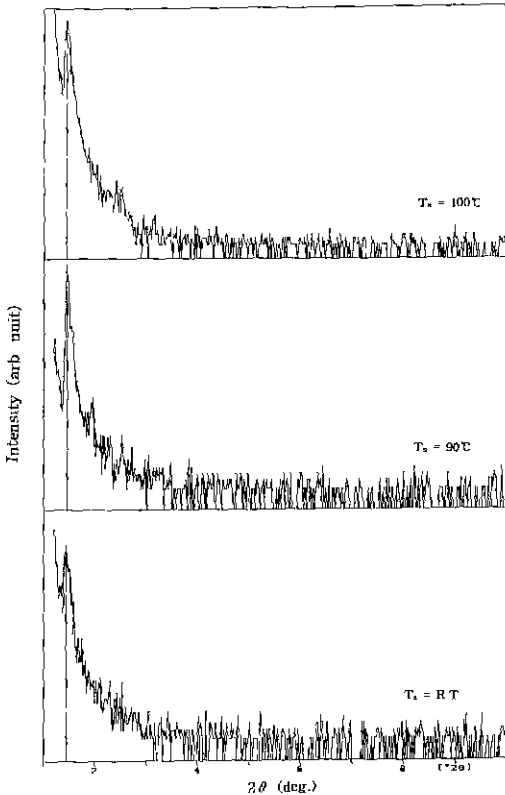


Fig. 9. Small angle diffraction spectra of Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin valve multilayer at various substrate temperatures; (a) room temperature, (b) 90 °C and (c) 100 °C.

다. 기판온도가 높아짐에 따라 공적자등의 격자 결합이 약해진것에 기인하여 90 °C의 기판온도에서 제작된 시료의 보자력이 극대값을 보였으며 이 결과와 MR 측정 결과를 비교해 보았을 때 높은 MR 비는 종종 큰 보자력과 관련이 있다고 보고[8]된 것과 비슷한 결과라 생각한다.

Fig. 9는 Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> 시료에 대한 상온 및 기판온도별 소각 X선 회절 측정 결과를 나타낸 것이다. 각 기판온도별 소각 X선 회절 강도를 나타내는 것으로 보아 각 계면에서의 상호확산에 의한 다층구조가 무너지지 않고 그 주기성을 유지하고 있는 것으로 생각된다. 90 °C의 기판 온도로 제작된 시료의 경우의 소각 회절선의 강도가 비교적 높은 것은 이 기판온도에서 제작한 시료의 MR비가 높은 것과 관련성이 있는 것으로 생각된다.

Fig. 10은 Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> 시료에 대한 상온 및 기판온도별 고각 X선 회절 측정 결과를 나타낸 것이다. 이것으로부터 NiFe, Co, Cu의 결정구조가 fcc이며 fcc(111) 피크의 위치는 기판온도가 상온에서 90 °C로 높아짐에 따라서 고각

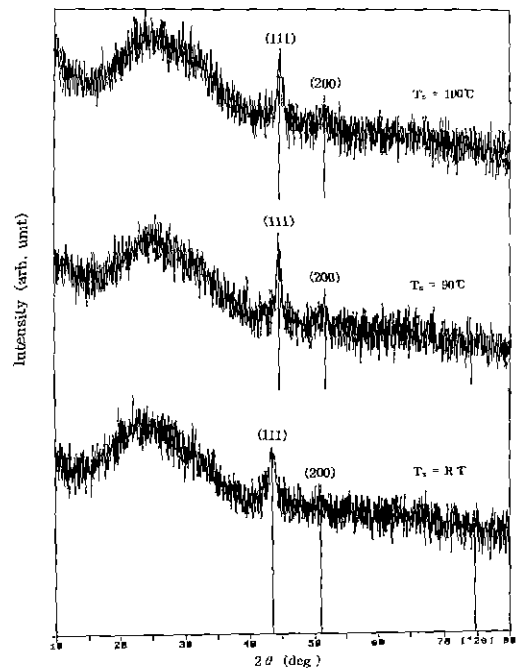


Fig. 10. High angle diffraction spectra of Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin valve multilayer at various substrate temperatures, (a) room temperature, (b) 90 °C and (c) 100 °C.

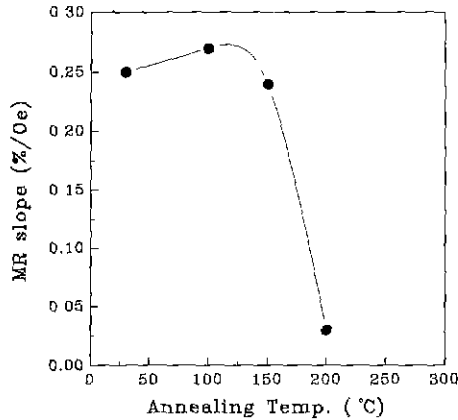


Fig. 11. MR slope as a function of the temperature of annealing for Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin valve multilayers.

쪽으로 이동해 있음을 알 수 있다. 이것은 기판온도가 높아짐에 따라 기판과 금속막의 열팽창 계수가 다른 것으로부터 NiFe막이 막면 인장응력을 일으키기 때문이라고 생각한다.

Fig. 11은 상온에서 제작한 Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin-valve 다층박막에 대한 MR slope의 열처리 온도 의존성을 나타낸 것이다. 열처리 온도 150 °C까지 각각 2시간동안 열처리한 경우에는 MR 특성의 큰 변화는 확인되지 않지만 200 °C로 열처리한 후에 기울기는 급격히 감소하였다. MR 변화율도 열처리 전의 4.5%에서 200 °C로 열처리한 후에는 1.8%까지 감소하였다. 이 spin-valve 다층박막에서는 물리적 적층주기가 변화하는 만큼의 확산은 일어나지 않지만, 고용계에서 어떤 Cu와 Ni 원자에 있어서 원자 order 정도의 확산이 생겨 그 결과 조성에 민감한 특성을 나타내는 NiFe 층의 자기적 연질성이 상실되어, 스핀의 반평행 상태가 충분히 이루어지지 않아 자기저항비가 감소한 것으로 생각된다. 다시말하면, 열처리에 의해 계면에서의 원자 확산이 일어나면 한쪽의 자성층으로부터 튀어나오는 전도전자가 다른쪽의 자성층에 도달하기전에 확산[10]에 의해서 생긴 Cu층 내의 불순물 원자 Co, Ni, Fe에 의해서 산란될 확률이 높아지게 되어 즉, 스핀 방향에 의존한 산란을 받는 확률이 낮게 되어 MR 변화가 작아지는 것으로 생각한다. 이와같이 이 다층박막의 MR 효과는 열처리에 의한 계면에서의 원자확산이 일어나기 때문에 작아진다고 볼 수 있다. 그러나 MR 변화의 저하가 현저하게 일어나

는 온도는 200 °C 근방으로 꽤 높은 온도이기 때문에 열적 안정성에 관련한 커다란 문제는 없다고 생각한다. 또한 내열성에 있어서 중요한것은 NiFe층의 자기적 연질 특성의 저하를 막는 일이라 생각한다.

#### IV. 결 론

DC magnetron sputtering 방법으로 제작한 buffer/[NiFe/Cu/CoFe(Co)/Cu]<sub>N</sub> spin-valve 다층박막에서 자기저항 특성과 자기적 성질 및 자기장 감응도를 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) NiFe와 Co 자성층을 사용한 시료는 전형적인 spin-valve MR 곡선의 형상을 보이는 반면 NiFe와 CoFe 자성층의 경우에는 spin-valve 제를 이루지 못하고 자기이력 현상이 경미한 2원계 다층박막의 MR 곡선 모양을 나타내었다.

2) 비자성층 Cu층 두께가 50Å일 때 극대 자기저항비를 보이며 이 보다 두꺼워지면 Cu층의 두께가 전도전자의 평균 자유행로와 비슷해지거나 더 큰 것에 따른 스핀의존산란의 감소에 기인하여 자기저항비는 감소하였다.

3) 사이층 박막 적층횟수 10일 때 Cr과 Ta의 최적 기저층의 두께는 모두 50Å임을 확인하였으며 NiFe 자성층 두께는 Co 자성층 두께와 동일한 20Å일 때 극대 자기저항비 약 4.5%를 나타내었다.

4) 자기장 감응도는 Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub>인 시료 즉, NiFe층 두께가 20Å일 때 극대값 0.25 %/Oe를 나타내었다.

5) 기판온도가 증가함에 따라 자기저항비 및 보자력은 각각 증가하여 90°C에서 Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> spin-valve 다층박막은 각각 극대값 7.5 % 및 140 Oe를 나타낸 후 감소하는 비슷한 경향을 보여 이들의 관련성을 확인할 수 있었다.

6) 기판온도를 다르게 제작한 spin-valve 다층박막의 소각 및 대각 XRD 측정 결과 시료의 다층구조가 무너지고 그 주기성을 유지하고 있으며, NiFe, Cu 및 Co의 결정구조가 fcc임을 알 수 있었다.

7) 상온에서 제작한 시료에 대하여 열처리 온도 150 °C 까지 각각 2시간동안 열처리한 경우 MR 특성의 큰 변화는 없었지만 200 °C로 열처리한 후에 현저한 변화를 확인 할 수 있었고, 열안정성을 결정하는 주요한 요인은 열처리에 의한 NiFe 자성층의 연자기 특성의 저

하라는 것을 알 수 있었다.

8) Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> 인 spin-valve 다층박막은 극대 MR비 4.5 %, 자기장 감응도 약 0.25 %/Oe를 나타내어 유효 자기장 감응도를 보임으로서 spin-valve head 재료로 적합함을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 1997년도 한국 학술진흥재단 공모과제 연구비의 지원에 의한 것이며 이에 감사드립니다

### 참고 문헌

[1] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuzet, and J. Chaze-

las, Phys. Rev. Lett., **61**, 2472(1988).  
 [2] D. H. Mosca, F. Petroff, A. Fert, P. A. Schroeder, W. P. Pratt, Jr, and R. Laloee, J. Magn. Magn. Mater., **94**, L1(1991).  
 [3] S. Araki, Y. Yasui and Y. Narumiya, J. Phys. Soc. Jpn., **60**, 2827(1991).  
 [4] H. Yamamoto, T. Okuyama, H. Dohaomae and T. Shinjo, J. Magn. Magn. Mater, **99**, 243(1991).  
 [5] H. Sakakima and M. Satomi, Jpn. J. Appl. Phys., **31**, L484(1992).  
 [6] 山本, 堂野前, 日本應用磁氣學會誌., **15**, 431 (1991).  
 [7] J. X. Shen, M T Kief, J. A. Barnard and M R Parker, IEEE Trans. Magn., **31**, 3933(1995).  
 [8] R. Y. Fang, T. Y. Chen, H. Wan and D. S. Dai, IEEE Trans. Magn., **33**(5), 3571(1997).  
 [9] S. Joo, Y. Obi, K. Takanashii and H. Fujimori, J. Magn. Magn. Mater., **104**, 1753(1992).  
 [10] D. Miyouchi, S. Araki and Y. Narumiya, 日本應用磁氣學會誌., **17**, 365(1993).

## Magnetoresistance of [FeNi/Cu/CoFe(Co)/Cu]<sub>N</sub> Spin-Valve Multilayers

M. Y. Kim, J. M. Lee, K. L. Choi, M. Y. Oh and J. R. Rhee

Physics Department, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742, Korea

(Received 2 February 1999, in final form 22 February 1999)

Buffer/[NiFe/Cu/CoFe(Co)/Cu]<sub>N</sub> spin-valve multilayers prepared by dc magnetron sputtering on a corning glass substrate using NiFe and CoFe(Co) possess different coercivities. Dependence of magnetoresistance on the type and thickness of buffer layer, thickness of Cu, NiFe, stacking number of multilayer, substrate temperature and annealing temperature in the form [NiFe/Cu/CoFe(Co)/Cu]<sub>N</sub> spin-valve multilayers were investigated. To evaluate effect of magnetoresistance for this samples, X-ray diffraction analysis, vibrating sample magnetometer analysis, and magnetoresistance measurement (4-probe method) were performed. The maximum magnetoresistance ratio and coercivity were 7.5 % and 140 Oe, respectively for Cr-50Å/[NiFe-20Å/Cu-50Å/Co-20Å/Cu-50Å]<sub>10</sub> at substrate temperature of 90 °C. Magnetoresistance slope maintained 0.25%/Oe until 150 °C of annealing temperature, and then decreased to 0.03%/Oe at 200 °C. It was confirmed that the main factor of thermal stability was deteriorating of soft magnetic properties in the NiFe layer.