

스핀밸브형 거대자기저항 다층박막의 자기적 특성 및 미세구조에 관한 연구

노재철, 이두현, 이명신, 윤대호, 서수정
성균관대학교 금속공학과, 수원, 440-746

A study on the magnetic properties and microstructure of spin-valve type multilayer for giant magnetoresistance

J.C. Ro, D.H. Lee, M.S. Lee, D.H. Yoon and S.J. Suh

Department of Metallurgical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

요 약 교환이방성이란 반강자성층과 강자성층의 이층막(bilayer)사이의 교환작용에 의해 발생하는 일방향 자기이방성을 말한다. 본 연구에서는 스퍼터링법으로 제작한 NiO/NiFe 이층막에서 발생하는 교환이방성에 대한 연구를 통하여 이를 스핀밸브형 거대자기저항 소자에 적용하고자 하였다. 먼저 NiO의 증착조건 변화에 따른 NiO/NiFe 이층막의 특성변화를 살펴보았으며, 이를 통하여 NiO 증착중 Ar 압력 변화가 이층막의 교환이방성에 가장 중요한 인자임을 알 수 있었다. 즉 Ar 압력이 낮을수록 교환이방성 특성이 더 우수하였다. 이러한 이층막 조건을 통하여 스핀밸브형 거대자기저항 다층막을 증착하였으며 그 결과 3.4 %의 자기저항비와 0.25 %/Oe의 민감도를 얻었다.

Abstract The exchange anisotropy is the unidirectional magnetic anisotropy which comes from exchange interaction between antiferromagnetic layer and ferromagnetic layer. The application of this phenomenon to MR read head and spin-valve type GMR (Giant Magnetoresistance) head has been studied extensively. In our study, we intended to apply exchange anisotropy of NiO/NiFe bilayer to spin-valve type GMR element. Above all, we studied the exchange anisotropy of NiO/NiFe bilayer, and focused especially on the effect of NiO deposition condition. And we found that Ar pressure during NiO deposition was

crucial factor for the exchange anisotropy of NiO/NiFe bilayer. The lower the Ar pressure is, the better the characteristics of exchange anisotropy is. Then, we applied this optimum condition of NiO/NiFe bilayer to spin-valve type GMR element. Finally we got spin-valve type GMR element which had 3.6 % MR ratio, 16 Oe switching field, and 0.25 %/Oe sensitivity.

1. 서 론

반강자성체와 강자성체 사이에서 발생하는 교환이방성은 현재 자기기록 재생용 헤드분야에서 각광을 받고 있는 자기적 특성의 하나로써, 자기저항(MR) 소자에 있어서 Barkhausen 노이즈를 감소시키기 위해 응용되고 있고[1], 또한 스핀밸브형 거대자기저항(Giant Magneto Resistance) 소자에 있어서 고정층(pinned layer)을 형성하는데 그 역할이 중요시 되고 있다. 스핀밸브형 거대자기저항 소자는 현재 실용가능성이 높은 GMR 소자의 형태로서, 그 구조는 반강자성/강자성(pinned layer)/비자성/강자성(free layer)으로 이루어져 있다. 이것은 교환이방성 이층막(반강자성/강자성, bilayer)과 자유로운 자성층(free layer)의 외부 자장변화에 따른 상대적인 스핀배열의 차이에 의해 소자의 저항이 변하는 형태이다. 스핀밸브형 GMR 소자는 낮은 자장범위에서 큰 자기저항변화가 생기는 높은 민감도의 소자로서 고밀도 자기기록매체의 재생 및 자장 센서로서 그 응용이 기대되고 있다.

이와 같은 스핀밸브형 거대자기저항소자에 사용되는 교환결합 다층막으로 FeMn/NiFe가 가장 널리 연구되고 있으며, 그 응용이 기대되어지고 있다. FeMn은 비교적 높은 H_{ex} (교환이방성 자계)값과 낮은 $H_{c,p}$ (고정층의 보자력)를 나타내서 민감도가 높은 장점이 있다. 하지만, FeMn은 교환이방성이 막의

증착과정에서 성장양식에 크게 의존하여 제조조건의 확립이 어려운 문제가 있다. 또한 산화성 및 부식성 문제로 인하여 제조 및 유지가 힘들며, blocking 온도가 낮은 문제가 있다. 그래서 현재 FeMn을 대신할 반강자성층으로서 NiO에 대한 연구가 큰 관심을 모으고 있다. NiO는 FeMn에 비하여 강한 내식성과 높은 blocking 온도 및 낮은 구조민감도 등 그 특성이 우수하기 때문에 실용화 측면에서 더 큰 가능성을 내포하고 있다[2].

그래서 본 연구에서는 우선 반강자성층으로서 NiO의 특성에 대한 분석을 증착조건을 변화시켜가면서 행하였으며, 특히 그동안 관심이 상대적으로 적었던 NiO의 조성에 대하여 심도있는 고찰을 행하였다. 그 후에 최적의 NiO/NiFe 이층막 조건을 이용해 NiO/NiFe/Cu/NiFe 스핀밸브형 다층막을 증착하여 거대자기저항 거동을 관찰하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 (100) Si 웨이퍼와 Corning glass 7059를 기판으로 사용하였다. 여기에 NiO/NiFe 이층막을 마그네트론 스퍼터링 시스템을 이용하여 증착하였으며 그 위에 보호층으로 Ta를 증착시켜서 이층막의 교환이방성에 관하여 고찰하였다. 그리고 이 조건을 이용해서 NiO/NiFe/Cu/NiFe 스핀밸브형 다층막을 제조하였다.

증착온도는 상온을 유지하였으며, 막의 증착을 위한 초기진공도는 2×10^{-6} torr 이하를 유지하였다. NiFe는 $\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$ 타겟을 이용하여 Ar 가스 1 mtorr에서, D.C. power 40 W로 증착시켰으며, Cu는 D.C. 20 W로 Ar 1 mtorr에서 증착하였다. 이 조건들은 일정하게 유지시켰다. NiO의 증착은 NiO 타겟을 R.F. power를 이용하여 70 W로 증착하였다. 그리고 NiO 증착과정에 있어서의 Ar 압력은 0.5 mtorr에서부터 6 mtorr까지 변화시켜가면서 NiO/NiFe 이층막의 교환이방성 변화를 살펴보았다. NiO의 증착과정에서 투입전력은 70 W에서 200 W까지 변화시켜가며 실험하였다. 이때에 시편의 자기적 이방화를 위해서 증착과정 중에 영구자석을 이용해 300 Oe의 자기장을 인가하였다.

증착막의 두께는 mechanical stylus 법을 이용하는 Dektak 3030으로 측정하였으며, 이를 이용해 증착속도도 결정하였다. 자기적 특성의 분석을 위해서는 VSM(Vibrating Sample Magnetometer)을 이용하였으며, 결정구조에 대한 분석은 XRD(X-Ray Diffractometer)를 이용하였다. 막의 계면형상을 보기 위하여 AFM(Atomic Force Microscope)을 이용하였으며 조성분석을 위해서는 RBS(Rutherford Back-scattering Spectrometry)를 이용하였다. 미세구조의 정확한 관찰을 위하여 TEM(Transmission Electron Microscopy)를 이용하였다. 그리고 자기저항은 전형적인 4단자법을 이용하였다. 이러한 실험을 통해 얻어진 결과를 보면 다음과 같다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. NiO/NiFe 이층막의 교환이방성

먼저 NiO/NiFe의 교환이방성을 관찰하기 위하여 최적의 NiO 두께를 결정하기로 하였다. NiO 두께에 따른 교환이방성의 변화를 살펴보면 Fig. 1과 같다. NiO의 두께가 아주 얇을 때($<400 \text{ \AA}$)는 NiO 층에서 Ni의 자기모멘트 정렬이 반강자성으로 제대로 정렬되지 못한 것을 알 수 있다. 이로 인해 NiO의

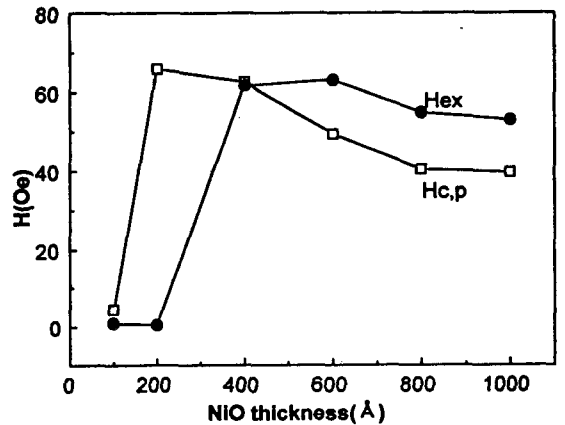


Fig. 1. The changes of exchange bias field (H_{ex}) and coercivity ($H_{c,p}$) with the NiO thickness in NiO/NiFe₁₀₀ bilayer.

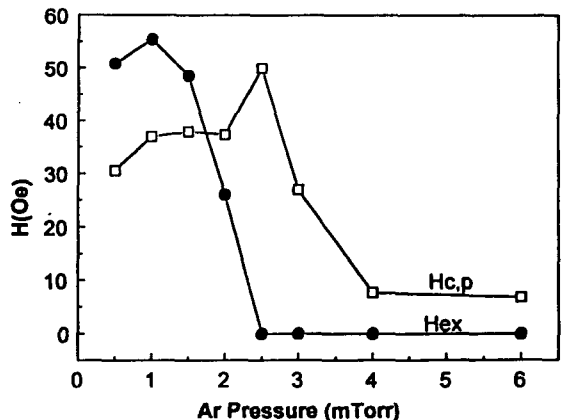


Fig. 2. H_{ex} and $H_{c,p}$ changes of Si/NiO₆₀₀/NiFe₁₀₀ with Ar pressure change during NiO deposition.

반강자성이 나타나지 못하여 NiFe와의 교환 결합이 나타나지 않은 것이다. 점차 NiO의 두께가 증가하면 NiO 층에서 반강자성을 나타내는 영역이 늘어나게 되므로 점차적으로 교환결합이 증가하게 되는 것을 알 수 있다. 교환이방성이 안정적으로 나타나는 것은 NiO의 두께가 600 Å 이상이 되었을 때인 것을 알 수 있다. 이를 통해 본 연구에서는 NiO의 두께를 600 Å으로 결정하였으며, 이를 기준으로 증착과정에서 Ar 압력 변화와 투입전력에 따른 교환이방성 변화를 고찰하기로 하였다.

Ar 압력 변화에 따른 NiO/NiFe 이층막의 자기적 특성변화를 관찰한 결과가 Fig. 2에 나타나 있다. H_{cx} 의 변화를 보면 1.5 mtorr까지는 비교적 안정된 값을 유지하다가 2.5 mtorr에서 0 Oe로 급격히 떨어진 후 그 이상의 Ar 압력에서는 더 이상 H_{cx} 값이 나타나지 않는 것을 볼 수 있다. $H_{c,p}$ 의 변화는 2 mtorr까지 유사한 값을 유지하다가 2.5 mtorr에서 피크를 나타낸후 급격히 감소해서 4 mtorr이상에서는 일정한 값을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이를 통하여 4 mtorr 이상에서는 NiO의 반강자성적 특성이 파괴되어 더 이상 교환이방성이 나타나지 않는다고 생각할 수 있다.

이러한 Ar 압력 변화에 따른 급격한 교환 이방성의 변화를 설명하기 위하여 우선 XRD를 통하여 결정구조의 변화를 살펴보았다(Fig. 3). 그 결과를 보면 Ar 압력 변화에 따라 막면의 수직방향으로 결정성장의 우선방위가 변하고 있는 것을 알 수 있었다. Ar 1 mtorr에서 NiO (200)과 (111)의 상대강도가 거의 유사하며 Ar 압력이 증가하면서 (200)의 상대강도가 급격히 증가해서 (200) 우선방위가 생성되었다. 하지만 이러한 NiO의 우선방위 변화가 NiO/NiFe 이층막의 교환이방성에 영향을 주지 않는다는 것은 이미

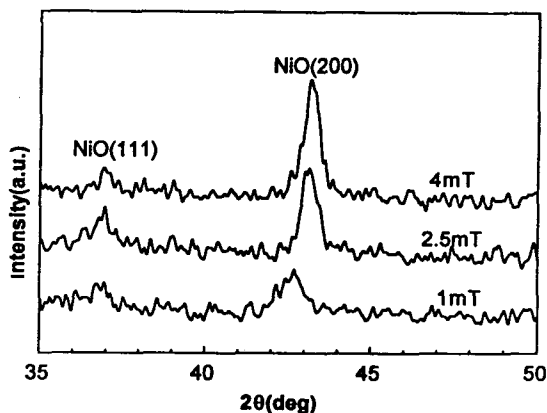


Fig. 3. XRD patterns of Si/NiO₆₀₀/NiFe₁₀₀ with the change of Ar pressure during NiO deposition.

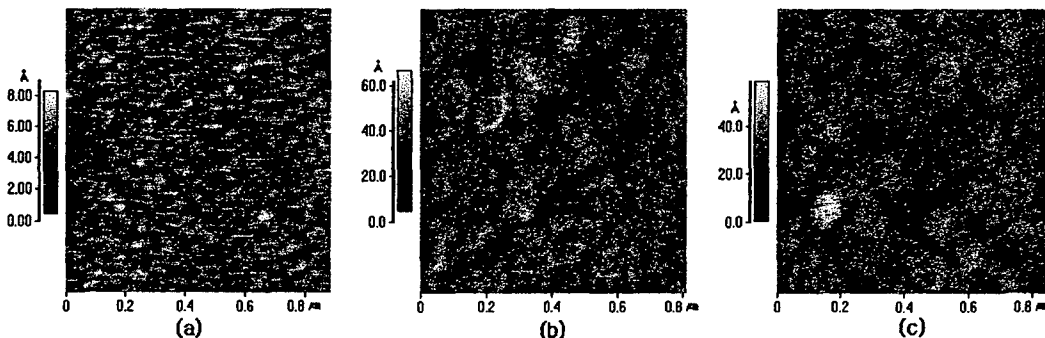


Fig. 4. AFM images of Si/NiO₆₀₀ with various Ar pressure during NiO deposition. (a) 1 mtorr, (b) 2.5 mtorr, and (c) 4 mtorr. RMS roughnesses : (a) 1.08 Å, (b) 6.3 Å, (c) 6 Å.

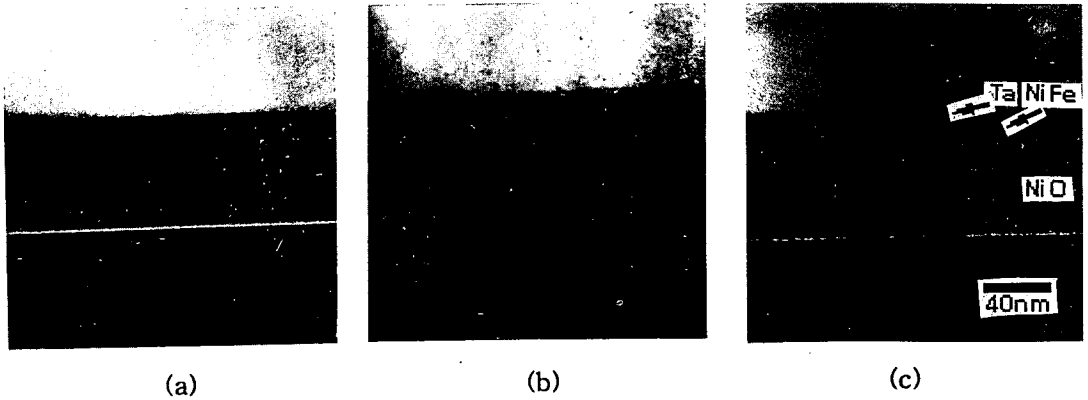


Fig. 5. Crosssectional TEM images of Si/NiO/NiFe/Ta multilayer (bright field image). (a) 1 mtorr, (b) 2.5 mtorr, and (c) 4 mtorr.

널리 알려진 사실이다[3]. 그리고 피크의 위치가 Ar 압력이 증가하면서 약간 이동한 것을 볼 수 있다. 그 이외의 XRD 상의 특별한 변화는 관찰되지 않았다.

결정립 크기를 NiO (200) 피크에 대하여 Scherrer 식[4]에 의해 계산한 결과, Ar 압력 1 mtorr에서 104 Å, 2.5 mtorr에서 138 Å, 4 mtorr에서 142 Å으로 나타났다. 또한 Fig. 4의 AFM 결과를 보면 계면의 거칠기가 증가하면서 돔형태의 형상을 갖는 것을 볼 수 있다. 이러한 미세조직의 변화는 Thornton 모델[5]에 의해 설명이 가능하다. 즉 Ar 압력이 증가하면서 transitional zone에서 zone 1으로 미세조직이 변하고 있는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 미세조직의 변화와 NiO/NiFe 이층막의 교환이방성과 어떤 관계가 있는지 살펴보았다.

반강자성적 자기모멘트 정렬은 결정립계에서 심하게 파괴되므로, NiO의 결정립은 NiO의 반강자성적 정렬에 있어서 하나의 domain으로 간주할 수 있음[6]이 알려져 있으며, 하나의 주상정을 하나의 수직 domain으로 생각할 수 있다. 그리고 Malozemoff에 의하면 H_{ex} 값은 반강자성층의 domain 크기에

반비례하는 것으로 알려져 있다($H_{ex} \propto 1/d$) [7]. 즉 Ar 압력 증가에 따른 결정립 크기의 증가는 H_{ex} 의 감소에 직접적인 관계가 있음을 알 수 있다. Ar 압력이 1 mtorr에서 2.5 mtorr로 증가하면서 결정립 크기가 급격히 증가한 후 4 mtorr에서는 큰 변화가 없는 결정립 크기의 변화 추이와 Fig. 2의 H_{ex} 의 변화에 대한 결과가 약간의 유사성이 있다. 하지만 결정립 크기 변화의 정도가 그리 크지 않은 것에 비하여 H_{ex} 의 변화 폭이 너무 크며, 결정립 크기가 증가한다고 해서 H_{ex} 값이 완전히 사라질 수는 없다. 즉 Fig. 2의

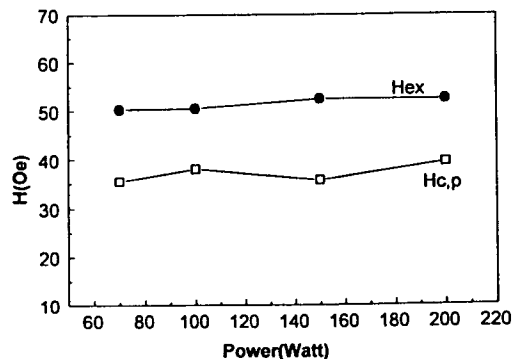


Fig. 6. H_{c} and $H_{c,p}$ changes of Si/NiO₆₀₀/NiFe₁₀₀ with input power change during NiO deposition.

H_{ex} 의 변화에 결정립 크기의 증가에 따른 효과뿐만 아니라 또 다른 원인이 동시에 작용하고 있다고 생각할 수 있으며 그 제 2의 원인이 결정립 크기 변화에 따른 효과 보다 더 큰 기여를 한다고 생각할 수 있다.

한편, 계면의 거칠기를 살펴보면 일반적으로 계면거칠기가 증가하면서 dipole-dipole 상호작용에 의해 local field가 발생하게 된다. 이러한 local field에 의해 NiFe의 보자력이 증가하게 된다[8]. 즉 Fig. 4의 결과에 따르면 Ar 압력이 증가함에 따라 계면거칠기가 증가하므로 $H_{c,p}$ 도 함께 증가할 것으로 예상할 수 있다. 하지만 Fig. 2에 나타난 $H_{c,p}$ 의 변화추이를 보면 이러한 계면거칠기의 변화와는 전혀 무관하게 변하고 있는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 계면거칠기가 $H_{c,p}$ 에 미치는 영향보다는 다른 조건의 변화가 Ar 압력에 따른 $H_{c,p}$ 의 변화에 더 큰 영향을 주었다고 생각할 수 있다.

이상의 미세조직의 변화를 좀 더 정확히 살펴보기 위하여 TEM을 통하여 NiO/NiFe 이층막의 단면을 관찰하였으며 그 결과가 Fig. 5에 나타나 있다. 이를 보면 Ar 압력에 따른 결정립 크기나 계면거칠기 특성이 위에서 얻어진 결과와 유사한 것을 알 수 있다.

즉, 미세구조의 변화에 따른 H_{ex} 와 $H_{c,p}$ 의 변화가 존재하는 것은 사실이지만, 단순히 미세구조의 변화만으로는 Fig. 2 교환이방성의 변화를 완전하게 설명할 수 없다는 것을 알 수 있다.

이러한 특성의 해석을 위해 조성분석을 RBS를 통해 행하였다. 조성분석 결과가 Table 1에 나타나 있다. 그 결과를 보면 Ar 압력이 1 mtorr에서 2.5 mtorr로 증가하면서 산소의 양이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있으며 4 mtorr로 증가하면서는 약간 증가하고 있다. 이러한 산소양의 증가는 반강자

Table 1
Composition change of NiO layer in Si/
NiO₁₀₀₀/Ta with Ar pressure change ana-
lyzed by RBS

Deposition condition	Composition	
	Ni(at%)	O(at%)
Ar 1 mT	43.5	56.5
Ar 2.5 mT	41.5	58.5
Ar 4 mT	41	59

성층의 Ni 원자와 강자성층의 강자성 원자사이의 교환결합쌍의 수를 감소시키므로 H_{ex} 의 감소를 초래하게 된다. 또한 이러한 조성변화를 XRD 분석(Fig. 3)에서의 피크의 위치 변화와 연관시켜서 생각해 볼 수 있다. Ar 압력이 증가하면서 산소량이 증가하고 이로 인해 결정구조에 변화가 생기게 된 것이다. 즉 조성변화에 따라 격자에 약간의 변형이 생기며 이것이 반강자성적 자기모멘트 정렬을 파괴시켰을 것으로 생각된다. 그리고 이러한 반강자성의 파괴과정이 H_{ex} 와 $H_{c,p}$ 의 변화에 영향을 주었다고 볼 수 있다.

이러한 NiO 증착 중 Ar 압력 변화에 따른 NiO/NiFe 이층막의 교환이방성의 고찰이후 Ar 압력을 1 mtorr로 고정시키고 NiO의 증착과정에서의 투입전력에 따른 특성 변화를 살펴보았다. 투입전력에 따른 H_{ex} 와 $H_{c,p}$ 의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. R.F. power를 70 W에서부터 200 W까지 변화시키며 측정해 본 결과 교환이방성의 변화가 없는 것으로 나타났다. 자기이력곡선의 형태에도 별다른 차이가 없는 것으로 나타나서 자기적 특성에 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 또한 결정구조를 보기위하여 XRD를 측정하였으나 결정구조에도 별다른 변화없이 성장방위에 있어서 (111)과 (200)이 공존하고 있는 것으로 나타났다. 이를 통해 NiO의 증착 중

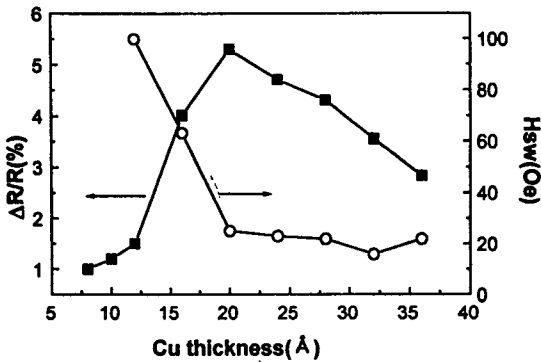


Fig. 7. The changes of MR ratio and switching field(H_{sw}) with various Cu thicknesses in glass/ $NiO_{600}/NiFe_{50}/Cu_x/NiFe_{50}$.

투입전력의 변화는 $NiO/NiFe$ 이층막의 교환이방성에 영향을 주지 않는 것을 알 수 있었다.

이상의 결과를 통하여 $NiO/NiFe$ 이층막의 교환이방성은 Ar 압력이 증가함에 따라 약화되는 것을 알 수 있으며 그 주된 원인은 NiO 층에서의 산소의 양의 증가에 있음을 알 수 있었다. $NiO/NiFe$ 이층막의 최적 조건은 NiO 를 Ar 압력 1 mtorr에서 600 Å 증착시켰을 때 얻을 수 있었다.

3.2. $NiO/NiFe/Cu/NiFe$ 의 GMR 특성

$NiO/NiFe$ 이층막에서 얻은 실험결과를 토대로 NiO 의 두께를 600 Å으로 고정하고, $NiO/NiFe$ (고정층)/ Cu (비자성층)/ $NiFe$ (자유층)/ Ta (보호층)의 스펀밸브 다층막을 제작하여 자기적 특성을 관찰하였다. Fig. 7은 glass/ NiO (600 Å)/ $NiFe$ (50 Å)/ $Cu(x)/NiFe$ (50 Å)의 박막구조에서 Cu 의 두께 변화에 따른 자기저항비와 자유층에 대한 H_{sw} (switching field)를 나타낸 것이다. Cu 층의 두께가 얇은 경우(13 Å)에는 낮은 자기저항비를 나타내었고, 20 Å 부근에서 최대 자

기저항비인 5.5 %를 얻을 수 있었으며, 그 후 Cu 의 두께가 두꺼워짐에 따라 점차 감소하는 경향을 나타내었다. Cu 층의 두께가 얇은 경우(13 Å)에는 자유층과 고정층 간의 교환결합의 작용으로 외부자장에 대하여 자유층과 고정층의 자화방향이 동시에 회전하기 때문에 거대자기저항 효과가 사라지고 이방성 자기저항 효과만 나타나게 된다. 그러나, 이방성 자기저항 효과만으로는 자기저항비가 1.5%의 값을 얻을 수 없으며 다른 원인에 의해 자기저항이 증가했을 것으로 생각된다. 이것은 $Co/Au/Co$ sandwiches 등[9, 10]에서 발견되는 인접면과의 국부적인 반평행 현상에 의해 자기저항효과가 발생하기 때문이라고 생각된다. Cu 의 두께가 비교적 두꺼운 경우(>20 Å), Cu 의 두께가 증가함에 따라 자기저항비가 감소하는 이유는 전도전자가 Cu 층으로 분로(shunt)되어 고정층과 자유층을 지날 수 있는 기회가 감소하여 자기저항효과를 감소시키는 원인과, 양극화된 전자(polarized electron)가 Cu 층에 의해 산란(scattering)되는 현상의 증가에 의한 것[11]이라고 사료된다.

한편, H_{sw} 는 Cu 의 두께가 16 Å일 때까지는 60 Oe 이상의 높은 값을 나타내지만 Cu 의 두께가 20 Å 이상인 경우에는 20 Oe 내외의 일정한 값을 나타내고 있다. 이러한 이유는 Cu 의 두께가 얇아짐에 따라 고정층과 자유층 상호간의 강한 교환결합으로 인하여 외부자장에 대하여 자유층의 $NiFe$ 의 자화배열이 독립적으로 정렬하지 못하기 때문에 높은 H_{sw} 를 나타내는 것이다. Cu 의 두께가 20 Å 이상으로 증가하면 두 자성층의 상호작용이 감소하므로 H_{sw} 가 감소하게 된다.

Cu 두께에 따른 자기적 성질을 고찰하여 20 Å 부근에서 최대 자기저항비 5.5 %를

얻을 수 있었으나 H_{sw} 가 25 Oe로 매우 크게 나타났으며, 32 Å의 Cu두께에서는 비교적 높은 자기저항비와 낮은 H_{sw} 를 얻을 수 있었다. 따라서 이후 실험에서는 Cu의 두께를 32 Å으로 고정하였다.

Figs. 8, 9는 glass/NiO(600 Å)/NiFe(x)/Cu(32 Å)/NiFe(50 Å)의 박막구조에서 반강자성체와 결합하고 있는 NiFe 층(고정층)의 두께 변화에 따른 자기저항비와 H_{ex} , $H_{c,p}$ 를 나타내고 있다. 고정층의 두께가 10 Å 이하 일 때 자기저항비는 거의 나타나지 않았으나, 고정층의 두께가 두꺼워짐에 따라 점차 증가하다가 50 Å에서 3.6 %를 나타내었고, 그 이상의 두께에서는 점차 감소하는 경향을 보이고 있다. NiFe의 두께가 10 Å 이하일 때는 자성층의 두께가 너무 얇아 균일한 증착이 이루어 지지 않았고, 또한 Cu와 Ni는 전율고용체를 형성하므로 sputtering 시 Cu가 NiFe 층에 쉽게 혼입[12]되어 NiFe 층이 자기적인 정렬을 하지 못하여 자기저항이 매우 낮게 나타난 것으로 사료된다. 전도전자가 서로 다른 스핀 상태의 자성층을 만날 수 있는 기회가 많아지기 위해서

는 고정층과 자유층의 두께가 동일해야 하므로 고정층의 두께가 50 Å에서 가장 큰 자기저항비를 나타낼 것을 예상할 수 있으며 이는 본 실험의 결과와 일치한다. 고정층의 두께가 증가하면 고정층의 전도전자가 비자성층을 통과하여 자유층으로 전도되는 확률이 적어지고 서로 반평행(antiparallel)한 자기적 정렬을 만날 기회가 감소하기 때문이다.

Fig. 10은 glass/NiO(600 Å)/NiFe(50 Å)/Cu(32 Å)/NiFe(x) 박막구조에서 자유층의 두께 변화에 따른 자기저항비와 H_{sw} 를 나타내고 있다. 고정층에서 얻은 결과와 마찬가지로 자유층의 두께가 10 Å 이하 일 때는 자유층의 두께가 너무 얇아 균일한 층이 형성되지 않기 때문에 고정층만이 자기저항 곡선에 기여하게 되므로 자기저항비는 거의 영에 가까운 값을 얻었다. 자유층의 두께가 50 Å 일 때 가장 높은 자기저항비를 얻었으며, 50 Å 이상으로 증가하면 차차 감소하는 경향을 보이고 있다.

한편, H_{sw} 는 자유층 NiFe의 두께가 두꺼워짐에 따라 급격하게 감소하며 50 Å 이상이

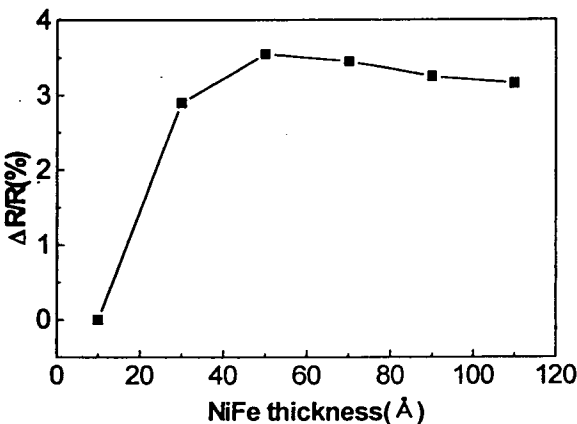


Fig. 8. The changes of MR ratio with various pinned layer thicknesses in glass/NiO₆₀₀/NiFe_x/Cu₃₂/NiFe₅₀.

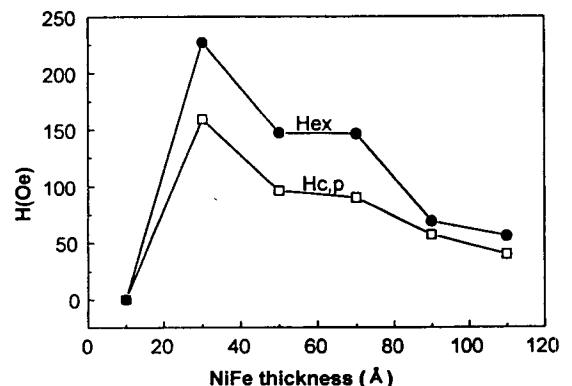


Fig. 9. The change of H_{ex} and $H_{c,p}$ with various pinned layer thicknesses in glass/NiO₆₀₀/NiFe_x/Cu₃₂/NiFe₅₀.

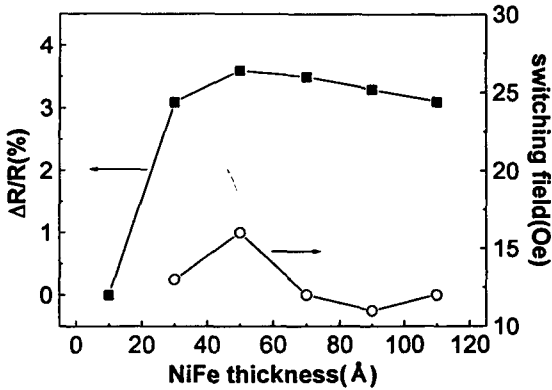


Fig. 10. The changes of MR ratio and switching field(H_{sw}) with various free layer thicknesses in glass/ $NiO_{600}/NiFe_{50}/Cu_{32}/NiFe_x$.

되면 서서히 감소한다. 자유층의 두께가 얇을 때는 고정층에 비해 상대적으로 많은 부분이 Cu와 계면원자섞임층을 형성하기 때문에 자화반전이 곤란하게 된다. 그래서 H_{sw} 가 비교적 높은 값을 갖게 되는 원인이 된다.

이상의 $NiO/NiFe/Cu/NiFe$ 스핀밸브형 다층박막의 두께 변화에 따른 미세구조와 우선방위의 변화를 관찰하기 위하여 XRD 분석을 하였으며, XRD pattern의 분석결과 거의 유사하게 나타났기 때문에 구조적인 변화가 발생하지 않은 것으로 판단된다.

이상의 결과를 통하여 최적의 거대자기저항 특성은 $NiO(600 \text{ \AA})/NiFe(50 \text{ \AA})/Cu(32 \text{ \AA})/NiFe(50 \text{ \AA})$ 에서 3.6 %의 자기저항비와 16 Oe의 H_{sw} 값을 얻을 수 있었다.

4. 결 론

스퍼터링법으로 증착한 $NiO/NiFe$ 이층막과 $NiO/NiFe/Cu/NiFe$ 다층막에 대한 자기적 성질을 고찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) Ar 압력의 증가에 따른 $NiO/NiFe$ 의 교환이방성의 감소의 원인은 결정립 크기의 증가와 NiO 중의 산소의 증가에 기인한다.

2) $NiO/NiFe$ 의 자기적 특성은 증착속도와 Input Power의 변화에는 무관하였다.

3) $NiO(600 \text{ \AA})/NiFe(50 \text{ \AA})/Cu(32 \text{ \AA})/NiFe(50 \text{ \AA})$ 박막구조에서 자기저항비와 H_{sw} 는 각각 3.6 %, 16 Oe를 얻을 수 있었고, 선형화 구간에서의 민감도는 0.25 %/Oe을 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 교육부 학술연구 조성비(자유공모과제)에 의하여 연구 되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] S. Soeya, S. Tadokoro, T. Imagawa, M. Fuyana and Narishige, J. Appl. Phys. 74(1993) 6297.
- [2] T. Lin, C. Tsang, R.E. Fontana and J. Howerd, IEEE Tran. Magn. 31 (1995) 2585.
- [3] D.H. Han, J.G. Zhu, J.H. Judy and J. M. Sivertsen, J. Appl. Phys. 81 (1997) 340.
- [4] B.D. Cullity, Element of X-Ray Diffraction, 2nd ed. (Addison-Wesley, 1978) p. 102.
- [5] D.L. Smith, Thin-Film Deposition (McGraw Hill, New York, 1995) p. 159, 196.
- [6] C.H. Lai, T.C. Anthony, E. Iwamura

- and R.L. White, IEEE Trans. Magn. 32 (1996) 3419.
- [7] A.P. Malozemoff, J. Appl. Phys. 63 (1988) 3874.
- [8] D.H. Han, J.G. Zhu and J.H. Judy, J. Appl. Phys. 81 (1997) 4996.
- [9] E. Velu, et. al., Phys. Rev. B 37 (1988) 668.
- [10] T. Takahata, et. al., J. Magn. Magn. Mater. 82 (1989) 287.
- [11] B. Dieny, V.S. Speriosu, S.S. P. Parkin, B.A. Gurnery, D.R. Whilhoit and D. Mauri, Phys. Rev B 43 (1991) 1297.
- [12] V.S. Speriosu, J.P. Nozieres, B.A. Gurney, B. Dieny, T.C. Huang and H. Lefakis, Phys. Rev. B 11 (1993) 11579.