

Co/NiMn의 교환 자기결합에 관한 연구

안동환 · 조권구 · 주승기

서울대학교 공과대학 재료공학부, 서울 151-742

(2000년 6월 12일 받음, 2000년 6월 30일 최종수정본 받음)

RF 마그네트론 스퍼터링 증착법으로 제작한 Co/NiMn 이층막에서의 교환자기결합현상을 연구하였다. 어닐링의 온도와 시간에 따른 교환자기결합력(H_{ex})의 변화를 조사하여 300 °C에서 13시간의 열처리후에 최대의 교환결합자장을 얻을 수 있음을 보였고, NiMn과 Co층의 적층순서를 변화시켰을 때, NiMn 상층구조의 시편이 더 높은 교환자기결합력을 나타냄을 알 수 있었다. 상층의 Ta 보호막의 사용이 교환자기결합을 나타내는데 필수적임을 알 수 있었는데, AES 분석은 Ta보호층을 적용하지 않은 경우에, 산소원자가 막 내부의 깊은 곳까지 침투함으로 인하여 교환자기결합력이 일어나지 않음을 보여주었다. 또한 교환자기결합에 대한 Ta 바닥층의 효과를 연구하였다. Ta 바닥층은 높은 교환자기결합력을 얻기 위해서는 사용하지 않는 것이 낫다는 것을 알아내었다. X선 회절분석의 결과는, Ta바닥층이 다층막에 우선방위조직을 형성시키는데 기여하지만, NiFe/NiMn 이층막에서의 경우와는 달리 교환자기결합에 반드시 필요한 조건이 아님을 보여주었다. 또한 Co층과 NiMn층의 두께에 따른 교환결합력의 영향을 조사하여, 교환결합력은 200 Å이상의 NiMn층 적용 시 최대값을 가지며, Co층의 두께에 반비례함을 알 수 있었다.

I. 서 론

고밀도 자기저장장치의 재생용 헤드를 위하여 거대자기저항(Giant Magneto-Resistance) 스핀밸브형 소자가 널리 응용되고 있다. 스핀밸브는 각각 자유층과 고정층으로 불리는 두 개의 강자성층이 비자성층인 Cu에 의해 분리되어 있는 샌드위치형 구조로 이루어져 있다. 이러한 스핀밸브구조에서는 고정층의 자화방향이 외부자기장에 의해 변화하지 않도록 하는 것이 중요하고, 이를 위해 적절한 반강자성물질을 사용하여 강하고 안정적인 pinning을 얻는 것이 절대적인 중요성을 가진다.

현재 널리 연구되고 있는 반강자성물질은 FeMn[1], NiMn[2,3], IrMn[4], PtMn[5], NiO[6] 등이 있으며, 그 중에서도 NiMn은 강한 교환자기결합과 높은 blocking 온도를 가지므로, 가장 유망한 반강자성물질중의 하나로 여겨지고 있다[2,3].

따라서, NiMn을 반강자성물질로 사용하는 스핀밸브에 대하여 많은 연구들이 이루어져 왔다. 또한 많은 연구가, 이에 적용되는 NiFe/NiMn 이층막의 교환자기결합특성에 대하여 집중되었다[7,8].

그러나, 고밀도 자기기록매체에 적용하기 위하여 기존 스핀밸브구조의 소자 크기를 작게 하면서, 기존의 스핀밸브구조는 bias point의 이동과 자기 민감도 감소 등의 문제가 크게 나타나게 되고, 이는 강자성층 사이의 정자기적

결합(magnetostatic coupling)과 반자장(demagnetization field)의 증가에 기인함이 발견되었다[9,10]. 이에 따라, Co/Ru/Co/antiferromagnet(AF) 등의 구조를 갖는 synthetic antiferromagnet(SyAF)을 가지는 새로운 스핀밸브구조가 제안되어, 많은 관심을 불러일으키고 있다[10-12].

그럼에도 불구하고, 이전의 기존 스핀밸브구조에 쓰이는 NiFe/NiMn 이층막에 대한 많은 연구[7,8,13]와는 달리, SyAF스핀밸브구조에서 쓰일 수 있는 Co/NiMn 이층막에서의 교환자기결합에 대한 연구는 거의 보고되지 않았다. 본 연구에서는 차세대 고밀도 헤드소자로 각광받는 SyAF스핀밸브에 있어서 Co층과 반강자성층사이의 교환 자기결합을 연구하기 위해 Co/NiMn이층막을 형성하여 그 특성을 연구하였다.

II. 실험방법

시편은 코닝 7059유리기판 위에, 3-gun RF 마그네트론 스퍼터링 시스템을 사용하여 증착하였다. 증착 전에 유리 기판은 아세톤에서 초음파세척 후에 H₂SO₄:H₂O₂ 1:1 용액에 담그어 세정하였다.

증착시 초기 압력은 1×10⁻⁶ Torr 이하로 유지하였고, 공정압력은 3×10⁻³ Torr 로 고정하였다. 기판의 온도는 상온을 유지하였다. NiMn박막은 Ni 타겟과 함께 Mn 칩을 이용하여 증착하였고, 막의 조성은 EDS(Energy

Dispersive Spectroscopy) 분석결과 Mn 54 at%임을 확인하였다. NiMn 반강자성층으로 인한 pinning을 얻기 위하여, 시편을 진공로에서 어닐링하였다. 이때 진공로의 진공도는 8×10^{-6} 이하로 유지하였다.

제작한 시편의 자기적 특성은 VSM을 이용하여 측정하였고, 시편 내부의 깊이에 따른 조성변화를 관찰하기 위해 Auger depth profiling을 수행하였다. 결정학적 texture는 XRD를 사용하여 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

그림 1은 Ta(100 Å)/NiMn(300 Å)/Co(50 Å)/glass 다층막 시편의 증착후와 어닐링 이후의 M-H 곡선을 나타낸다. 증착후 시편의 자기이력곡선의 이동이 전혀 보이지 않은 반면, 300 °C에서 7시간 열처리 후에는 378 Oe 크기만큼 일방향으로 이동하였음을 보여준다. 동시에 보자력(H_c)이 이전 18 Oe에서 84 Oe로 증가함을 보였다.

여기에서 교환자기결합자장 H_{ex} 는 자기이력곡선에서 0의 자화값을 가지는 두 점의 중점이 원점에서 이동되어진 양으로 정의되었고, 보자력 H_c 는 이 두점의 거리의 반으로 정의되었다.

증착후의 NiMn 박막은 비자성의 fcc NiMn매질 안에 반강자성을 띠는 fct NiMn 클러스터가 분포되어 있는 상태인 것으로 생각되고 있다[14]. 열처리 동안의 규칙화 상변태를 통하여 fct 반강자성 NiMn이 성장하여 Co/NiMn 계면에서 pinning을 일으키게 되고, 이의 결과로 자기이력곡선의 이동이 일어나게 된다. 이러한 규칙화 상변태는 열적 활성화 과정(thermally activated process)이므로, 어닐링 온도가 높을수록, 교환자기결합을 얻기위한 시

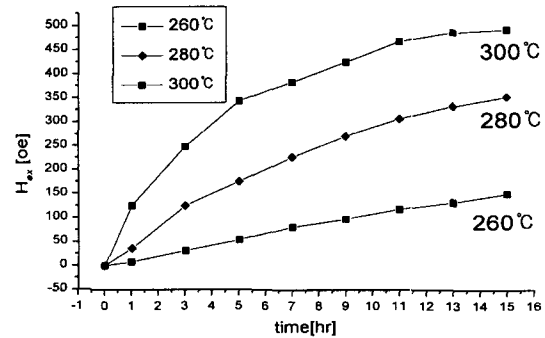


Fig. 2. exchange coupling field (H_{ex}) of Ta (100 Å)/NiMn (300 Å)/Co(50 Å)/glass with different annealing temperature and time.

간은 짧아지게 된다. 각기 다른 온도와 시간의 열처리동안 교환결합자장 변화를 관찰하였을 때, 예상하였던 대로 높은 온도에서 더 빨리 큰 교환결합자장값을 보이기 시작한다(그림 2). 본 연구에서는, 비교적 짧은 시간에 pinning을 얻는데 적어도 280 °C 이상의 온도에서의 열처리가 효과적임을 알 수 있었고, 300 °C에서 13시간의 열처리로 교환자기결합의 최대치를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

Co/NiMn 이층막 시편의 교환자기결합을 얻기 위하여 열처리를 하는 과정에서 Ta capping 층이 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위하여, Ta capping층을 이용한 Ta/NiMn/Co/기판 구조의 시편과, Ta capping층을 사용하지 않고 NiMn반강자성층을 노출시킨 NiMn/Co/기판 구조의 시편을 사용하여, 열처리후 자기이력곡선을 비교하였다(그림 3).

그림에서 보듯이, As-dep 상태에서 거의 같은 자기적 성질을 보였던 두 시편은 열처리 후, Ta capping층을 가

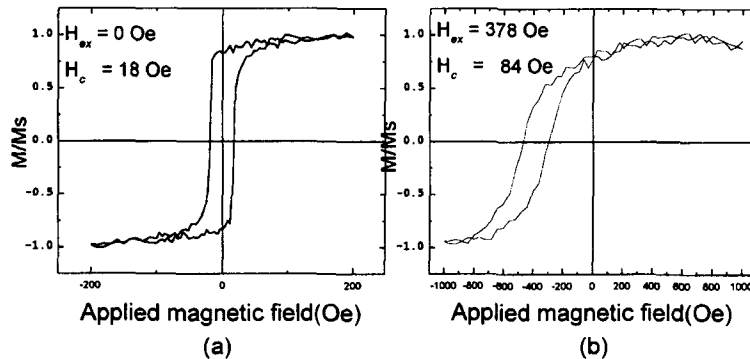


Fig. 1. M-H curves of Ta (100 Å)/NiMn (300 Å)/Co (50 Å)/glass sample before and after annealing. (a) As-dep $H_{ex} = 0$ Oe, $H_c = 18$ Oe (b) after 7 hr annealing at 300 °C, $H_{ex} = 378$ Oe, $H_c = 84$ Oe.

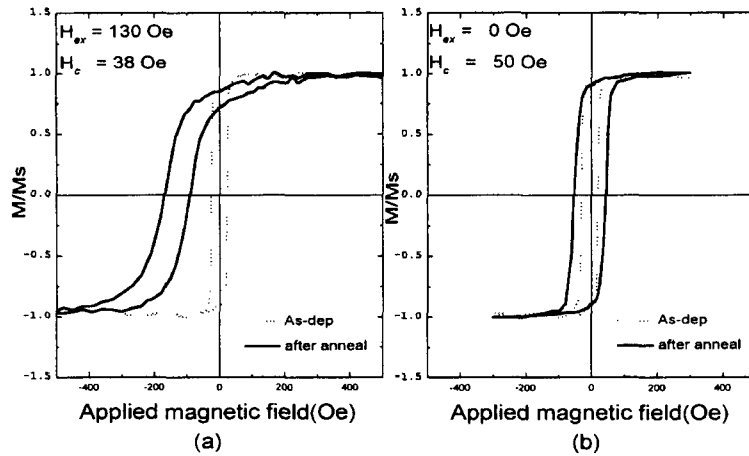


Fig. 3. M-H curves after 7 hr annealing at 300 °C of (a) Ta (100 Å)/NiMn(300 Å)/Co(100 Å)/glass (b) NiMn(300 Å)/Co(100 Å)/glass.

진 Ta/NiMn/Co/glass 시편이 의도한대로 pinning이 일어난 반면, NiMn/Co/glass의 시편은 열처리 후, 약간의 보자력 증가만 보일 뿐 자기이력곡선의 이동은 전혀 나타나지 않았다. 이러한 현상은 Co층을 NiMn 위에 증착한 (Ta)/Co/NiMn의 경우에서도 발견할 수 있었다.

Ta capping층의 유무에 따른 이러한 차이의 원인을 알아보기 위하여, Auger Electron Spectroscopy(AES)를 이용하여 시편내 표면으로부터의 깊이에 따른 원자의 조성 변화를 관찰하였다.

그림 4의 (a)는 NiMn/Co/glass기판 시편의 열처리 후 측정된 auger depth profile이다. 여기서 가장 특징적인 것은 진공내에서의 열처리였음에도 불구하고, 많은 산소원자들이 시편내에 깊숙이 침투하여 있음을 알 수 있다. 산소 원자들이 침투하여 NiMn층이 산화되면서 일어나는 특이한 현상은 표면쪽으로 Mn원자들이 몰리고 Ni원자는 더 깊숙한 곳에 남아 거의 두 개의 분리된 층처럼 형성된다는 것이다. 이로 인해 표면쪽의 첫 번째 층은 Ni함량이 매우 적은 사실상 망간산화물을 이루고 있으며, Ni원자들은 박막의 상당히 깊은 곳에서 발견되기 시작한다. 따라서, Co층과 접하는 NiMn/Co 계면에서의 NiMn의 조성비는 박막의 전체적인 조성비 Mn 54 %와는 큰 차이를 보일 것으로 생각된다. 또한 AES의 depth profile이 본래 각 박막간의 뚜렷한 구별을 보여주지 못함을 고려하더라도, Co층이라 생각되는 부분의 상당 깊이까지 Ni이 매우 많이 분포되어 있음을 볼 때, 이러한 Ni층은 Co층과 상대적으로 뚜렷한 경계를 형성하지 못한 채, 많은 양의 Ni이 Co층으로 확산되었음을 보인다.

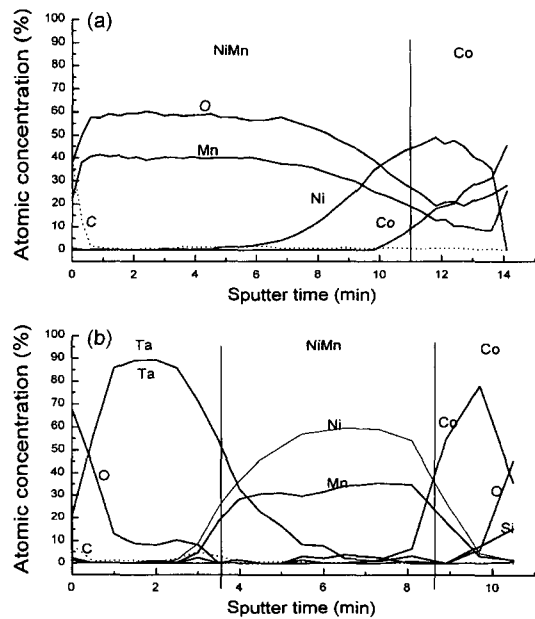


Fig. 4. AES depth profiles of annealed samples of (a) NiMn(300 Å)/Co(100 Å)/glass (b) Ta(100 Å)/NiMn(300 Å)/Co(100 Å)/glass.

이와는 대조적으로, Ta capping을 사용한 시편의 auger depth profile(그림 4(b))을 보면, 산소는 Ta층 표면의 매우 얇은 부분까지만 산화시키며, 깊이가 더 깊어질수록 산소가 존재하지 않아, NiMn층 부분에서는 산소원자의 침투가 존재하지 않는다. 따라서, NiMn층에서 (a)에서와 같은 Mn과 Ni원자들이 상대적으로 분리되는 현상없이, Ni과 Mn의 조성의 분포는 층 전체에 걸쳐 비교적 일정하다. 또

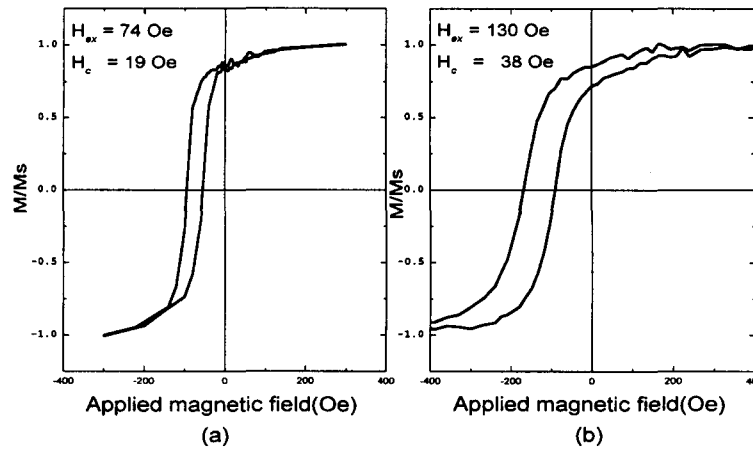


Fig. 5. M-H curves after 7 hr annealing at 300 °C of (a)Ta(100 Å)/Co(100 Å)/NiMn(300 Å)/Ta(100 Å)/glass (b) Ta(100 Å)/NiMn(300 Å)/Co(100 Å)/Ta(100 Å)/glass.

한 NiMn/Co층의 구별이 비교적 명확하다.

정리하면, Ta capping을 하지 않은 NiMn/Co 이층막을 열처리했을 경우, 1) 산소원자들이 시편내부로 광범위하게 침투하여 NiMn/Co의 계면 부분까지도 상당량이 이르고 2) 이와 동시에 Mn원자들이 표면쪽으로 이동하여 산소와 결합하면서, NiMn층의 조성이 균일하지 못하여, Co와의 계면 부근에서 반강자성 물질의 조성범위를 벗어날 것으로 생각되고 3) 많은 양의 Ni산화물로 NiMn/Co의 계면이 정의되지 못하는 등의 이유로 이 시편은 NiMn/Co의 교환자기결합력에 의한 자기이력곡선의 이동이 일어나지 않는다. 이러한 모든 현상들은 Ta capping층을 사용하여 효과적으로 방지할 수 있다.

그림 5는 Co층과 NiMn층의 적층순서를 비교하여 나타낸 그림이다. Co/NiMn의 구조(NiMn이 아래)와 NiMn/Co구조(NiMn이 위)에서의 교환자기결합세기를 비교하였을 때, NiMn 상위구조의 시편이 명백히 더 높은 교환자기결합을 가짐을 알 수 있었다. 이로부터 스핀밸브 구조의 응용시 더 높은 교환자기결합자장 H_{ex} 을 얻기 위해서는 NiMn 상위구조의 스핀밸브를 설계하는 것이 유리할 것이라는 것을 알 수 있다.

NiMn/Co구조(NiMn이 위)에서는, 먼저 증착시킨 Co박막층이 한쪽방향으로 자화되어 있는 상태에서 NiMn이 증착되어, 반강자성층이 더 강한 이방성을 가지기 때문에 더 효과적인 일방향 교환자기결합을 보이는 것으로 사료된다.

증착시에 인위적인 외부자기장을 가하지 않았음에도 불구하고, 실험에 사용된 장치내에서 Co박막은 특정방향의 자화용이축을 보였으며, 이 시편을 자기장 없이 진공내 열

처리하였을 때도, 특정 일방향으로 자화이력곡선의 이동 현상을 보였다. 또한 열처리 직전에, 외부자기장을 가하여 Co자성층의 자화방향을 바꾼 후에는 반대방향으로 자화이력곡선이 이동하는 것으로 보아, 열처리 시 이미 한 방향으로 자화되어 있는 Co층에 의해 교환자기결합의 방향이 결정되며, Co 박막의 일방향 자화는 박막증착시에 형성되는 것으로 생각된다.

이렇게 형성된 Co박막위에 반강자성물질을 증착함으로써, NiMn상위구조에서 교환자기결합의 효과를 높인 것으로 생각된다. 또한 일반적으로도 반강자성물질 상위구조의 스핀밸브에서는 박막성장시 가하는 자기장으로도 교환자기결합의 방향이 정의 될 수 있는 반면, 반강자성물질 하위구조 스핀밸브에서는 열처리 시 자기장을 가함으로써 정의할 수 있는 것으로 알려져 있다[16].

NiFe/NiMn 이층막에 대하여 행해졌던 많은 연구에서는, NiFe층과 NiMn층사이의 에피택시얼 성장이 높은 교환자기결합자장을 얻는데 필수적이며, 이런 이유로 비정질 Ta 바닥층이 NiFe층으로 하여금 강한 주상(columnar) 성장을 통해 (111)우선방위로 자라도록 하고, NiFe/NiMn 계면에서 에피택시 성장을 가능하게 해주므로, Ta 바닥층의 사용이 필요하다고 알려져 있다[8,15]. 그러나, 본 실험에서 Co/NiMn 이층막의 경우에는 높은 교환자기결합자장을 얻는데 Ta바닥층이 필수적이지 않을 뿐 아니라, 오히려 사용하지 않는 것이 더 낫다는 것을 알아내었다. 그림 6은 Ta바닥층을 사용하지 않은 Co/NiMn 시편이 더 높은 교환자기결합자장을 가짐을 보여준다. 이러한 Ta 바닥층의 효과는 Co층과 NiMn층의 적층순서에 상관없이 같은 효과

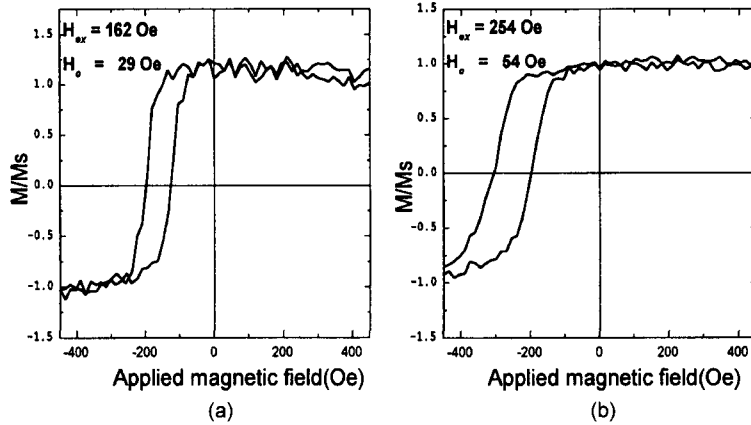


Fig. 6. M-H curves after 7hr annealing at 300 °C of (a) Ta(100 Å)/NiMn(300 Å)/Co(50 Å)/Ta(100 Å)/glass (b)Ta(100 Å)/NiMn(300 Å)/Co(50 Å)/glass.

를 보였다.

Ta 바닥층의 효과와 결정학적 구조의 차이를 조사하기 위하여, X-선 회절분석을 수행하였다.

그림 7은 Ta 바닥층을 사용한 Ta/NiMn/Co/Ta/glass의 시편에서 texture가 발달함을 보여준다. 그림 7(a) 그림의 33° 근방의 약간의 intensity 증가는 Ta 바닥층에 의한 기여인 것으로 생각된다. 이 시편에서 Ta 바닥층은 100 Å의 비교적 얇은 두께이므로, 뚜렷한 Ta x-ray peak의 출현을 발견할 수 없었는데, 500 Å정도의 Ta단일박막만 증착하여 XRD를 수행하였을 때, 2θ = 33.18°에서 강한 peak를 나타낸다. 비정질의 Ta 바닥층을 사용하여 스핀밸브의 강한 (111)texture 형성의 효과를 얻었다는 기존의 보고와는 달리[8,15], 본 실험에서의 Ta 바닥층은 결정질로 우선방위면을 가지고, 이것이 상층의 Co, NiMn 층에 texture를

발달시키는 것으로 보인다.

위에서 보인 XRD의 비교는 마치 NiMn/NiFe 이층막의 경우에서 Ta 바닥층을 사용하여 NiFe, NiMn (111) texture를 유도함으로써, 효과적인 교환결합력을 얻었던 실험의 XRD 결과와 매우 흡사하다. 그럼에도 불구하고, 본 실험에서 교환결합자장 크기의 변화 경향은, NiFe/NiMn 이층막의 경우와는 반대로, Ta바닥층이 없는 경우에 오히려 더 효과적인 교환결합 값을 가진다. 이러한 효과의 정확한 원인을 알 수 없으나, NiFe/NiMn의 경우와는 달리 (111) texture의 발달이 교환결합자장에 그다지 필수불가결한 사항이 아닌 것으로 보인다. 이러한 실험결과를 보이는 다른 요인에 대한 연구가 더 필요할 것으로 생각된다.

Co층과 NiMn층의 두께에대한 자기적 성질의 변화를 관찰하기 위하여, 여러 두께를 가지는 많은 시편을 동시에 제작하였다. 그림 8에서 보여지듯이, 교환자기결합자장 H_{ex} 는 Co층의 두께에 반비례하는 것으로 나타났다. 이는 교환자기결합에 대한 일반적인 식인 $H_{ex} = J_k / (M_s \cdot t_{co})$ 에

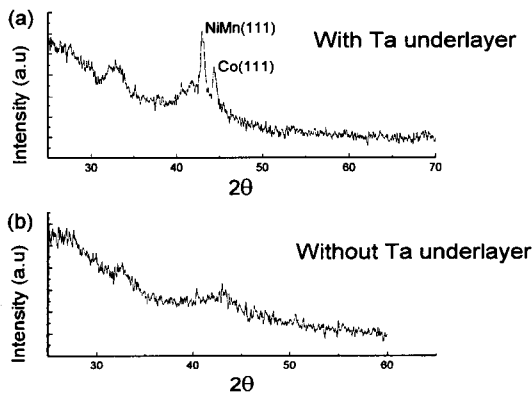


Fig. 7. XRD patterns of (a)Ta(100 Å)/NiMn(300 Å)/Co(200 Å)/Ta(100 Å)/glass (b)Ta(100 Å)/NiMn(300 Å)/Co(200 Å)/glass.

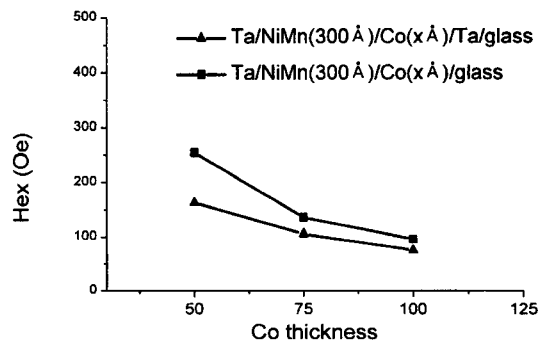


Fig. 8. Variation of exchange coupling with Co thickness.

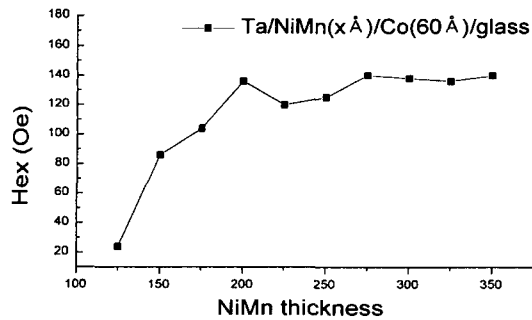


Fig. 9. Variation of exchange coupling with NiMn thickness.

도 부합하는 것으로 교환자기결합의 계면현상임을 보여준다. 이 식으로부터 계산된 계면 교환자기결합 에너지 J_k 는 각각 Ta바닥층을 사용한 Ta/NiMn/Co/Ta 시편의 경우에는 0.11 erg/cm^2 , 그리고 Ta 바닥층을 사용하지 않은 Ta/NiMn/Co 시편의 경우에는 0.153 erg/cm^2 이었다.

교환자기결합의 NiMn층의 두께에 대한 영향도 관찰하였다. 스핀밸브 구조에서, 그것이 최대의 교환자기결합자장을 유지하는 한, 최소의 두께를 가진 NiMn층을 적용하는 것이 스핀밸브의 총 두께를 얇게 하여 고밀도의 자기 기록을 실현하는데 바람직하다. 그림 9에서 보듯이 교환자기결합은 200 \AA 이하의 NiMn층 두께에서 빠르게 감소하기 시작하며, 따라서 200 \AA 두께의 NiMn층이 최대의 교환자기결합세기를 유지하는데 필요한 최소두께임을 알 수 있다.

IV. 결 론

Co/NiMn 이층막을 제작하여 그것의 자기적 성질을 관찰하였다. Co/NiMn 이층막의 교환자기결합을 Ta capping 층의 유무, Co와 NiMn층의 적층순서, 그리고 Ta바닥층의 사용유무에 대하여 비교, 연구하였다. 교환자기결합력을 얻기 위하여 산소원자의 침투를 막아주는 Ta capping층의 필요함을 AES분석으로부터 보였고, 더 높은 교환자기결합력을 얻기 위하여, Co/NiMn 이층막은 NiMn 상위구조 이어야하며 Ta 바닥층을 사용하지않고 제작하는 것이 필

요함을 알 수 있었다. 교환자기결합자장 Hex는 Co층의 두께에 반비례하는 관계를 가짐을 알 수 있었고, 또한 Co/NiMn 이층막에서 최대의 교환자기결합력을 얻기 위해서는 적어도 200 \AA 의 NiMn층이 요구됨을 보였다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 서울대 철강연구센터의 연구비 지원으로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Y. K. Kim, K. Ha, and L. L. Rea, IEEE Trans. Magn., **31**, 3823(1995).
- [2] T. Lin, C. Tsang, R. E. Fontana, and J. K. Howard, IEEE Trans. Magn. **32**, 2585(1995).
- [3] T. Lin, D. Mauri, N. Straud, C. Hwang, J. K. Howard, and G. L. Gorman, Appl. Phys.Lett. **65**, 1183(1994).
- [4] H. N. Fuke, K. Saito, Y. Kamiguchi, H. Iwasaki, and M. Sahashi, J. Appl. Phys., **81**, 4004(1997).
- [5] M. Saito, Y. Kakihara, T. Watanabe, and N. Hasegawa, J. Magn. Soc. Jpn. **21**, 505(1996).
- [6] R. P. Michel, A. Chaiken, Y. K. Kim, and L. E. Johnson, IEEE Trans.Magn., **32**, 1183(1994).
- [7] Z. Qian, J.M.Sivertsen, J. H. Judy, S.Mao 85 6106 J. Appl. Phys. **85**, 6106(1999).
- [8] B. Y. Wong, C. Mitsumata, S. Prakash, D. E. Laughlin, T. Kobayashi J. Appl. Phys **79**, 7896(1996).
- [9] R. W. Cross, Y. K. Kim, J. O. Oti, S. E. Russek, Appl. Phys. Lett, **69**(25), 3935(1996).
- [10] J. L. Leal, M. H. Kryder J. Appl. Phys. **83**, 3720(1998).
- [11] M. Saito, N. Hasegawa, F. Koike, H. Seki J. Appl. Phys. **85**, 4928(1999).
- [12] Y. Huai, J. Zhang, G. W. Anderson, P. Rana, S. Funada, C.-Y. Hung, M. Zhao. S. Tran J. Appl. Phys. **85**, 5528 (1999).
- [13] C. Loch, W. Maass, B.Ocker, K.Roll J.Appl.Phys. 85 4460 (1999).
- [14] T. Lin, C. Tsang, R. E. Fontana, and J. K. Howard, IEEE Trans. Magn. **31**, 2585(1995).
- [15] R. Nakatani, K. Hoshino, S. Noguchi, Y. Sugita Jpn. J. Appl. Phys **33**, 133(1994).
- [16] J. C. S. Kools IEEE Trans.Magn. **32**, 3165(1996).

Exchange coupling of Co/NiMn bilayer

DongHwan Ahn, Kwon-Koo Cho and Seung-Ki Joo

*School of Materials Science and Engineering, Seoul National University,
San 56-1, Shillim-dong, Kwanak-ku, Seoul, 151-742, Korea*

(Received 12 June 2000, in final form 30 June 2000)

Exchange coupling of Co/NiMn bilayers fabricated by RF magnetron sputtering method was studied. We investigated the variation of exchange coupling field (H_{ex}) for different annealing temperature and time. The maximum exchange coupling field was obtained after 13hr annealing at 300 °C. With respect to deposition sequence, it was demonstrated that NiMn-top bilayers had higher exchange coupling field than NiMn-bottom bilayers. Ta capping layer was shown to be essential in achieving exchange coupling and Auger Electron Spectroscopy (AES) proved that uncapped NiMn/Co bilayers did not have exchange coupling because of oxygen incorporation into film. We also observed the effect of Ta underlayer on exchange coupling. It was found that Ta underlayer had better not be used for attaining higher exchange coupling. XRD analysis showed that Ta underlayer helped bilayers develop texture, but it was not essential to exchange coupling of Co/NiMn bilayers, which is in contrast to NiFe/NiMn system. Furthermore, the NiMn and Co thickness dependence of exchange coupling has been investigated. The exchange coupling strength reached the maximum above 200 Å NiMn thickness and had inversely proportional relation with Co thickness.