

Mn-Ir의 조성과 두께 및 초기진공도에 따른 Mn-Ir/Ni-Fe/Zr 다층막의 자기적특성과 미세구조 연구

노재철 · 최영석 · 이경섭 · 김용삼 · 서수정
성균관대학교 금속공학과, 수원시, 440-746

(1999년 8월 9일 25만음, 1999년 4월 20일 최종수정본 받음)

본 연구에서는 마그네트론 스퍼터링 법으로 제작한 Mn-Ir/Ni-Fe/Zr/Si 다층막에서 Mn-Ir의 조성과 증착조건을 변화시키고 또한 Mn-Ir 층의 두께를 조절한 후 자기적 특성과 미세구조에 대하여 고찰하였다. Mn - 22 at% Ir의 조성에서 219 Oe의 가장 높은 H_c 와 30 Oe의 낮은 H_k 를 얻을 수 있었다. 초기진공도가 3.0×10^{-6} Torr 이상 일때는 교환이방성이 사라지게 되었으며 이것은 Mn-Ir의 비정질화와 결정립미세화에 의한 것으로 판단된다.

I. 서 론

최근에 고밀도 자기기록매체의 재생소자나, 자기센서로서 거대자기저항(GMR)소자[1]가 큰 관심을 받고 있다. 그 중 스핀밸브형 거대자기저항소자는 우수한 민감도로 인해 큰 실용 가능성이 기대된다. 스핀밸브형 거대자기저항소자는 반강자성 / 강자성층의 이층막에서 발생하는 교환이방성 효과를 이용함으로써 거대자기저항 현상[2]이 나타나게 된다. 따라서 반강자성층으로 FeMn[3-4]을 이용한 교환결합 다층막에 대한 연구가 활발하게 진행되어 왔으나 Blocking 온도가 낮고, 내식성이 떨어지는 단점을 나타낸다. 이를 보강하기 위해 NiO[5-7], NiMn[8], Mn-Ir[9-12] 등의 반강자성체에 대한 연구가 진행 중이다. 그 중에서도 Mn-Ir/Ni-Fe는 높은 교환이방성과 높은 Neel 온도 [10, 12], 우수한 내식성[9, 11]을 갖고 있기 때문에 스핀밸브에 응용될 수 있는 유력한 후보로 알려져 있으나, 많은 연구가 진행되지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 Mn-Ir/Ni-Fe의 자기적특성에 대하여 연구하기 위해 Ir의 조성과 증착조건을 변화시키고 또한 Mn-Ir 층의 두께를 조절한 후 자기적 특성과 미세구조에 대하여 고찰하였다.

II. 실험방법

D.C magnetron sputtering법을 이용하여 Si(100) 기판 위에 Mn-Ir/Ni-Fe/Zr 박막을 증착하였다. Mn-Ir 박막의 조성은 Mn target 위에 Ir chip의 수를 변화시켜 조절하였고 Ni-Fe는 Ni-19 wt% Fe의 타겟을 사용하여 일정한 조성을 얻었다. 초기진공도는 $1.0 \sim 5.0 \times 10^{-6}$ Torr 로 조절하고, 기판의 온도는 상온을 유지하였다. 이때 Ar 압력과

증착 power는 각각 4 mTorr와 40 W로 유지하였다. 그리고 시편의 자기적 이방화를 위해서 증착과정 중에 영구 자석을 이용해 300 Oe의 자기장을 인가하였다.

증착막의 두께는 mechanical stylus 법을 이용하는 Dektak 3030으로 측정하였으며, 이를 이용해 증착속도를 결정하였다. 자기적 특성의 분석을 위해서는 VSM (Vibrating Sample Magnetometer)을 이용하였으며, 미세 구조에 대한 분석은 Cu $K_{\alpha 1}$ 의 XRD(X-Ray Diffractometer)와 HRTEM(High Resolution Transmission Electron Microscopy)을 이용하였다. 조성분석을 위해서는 RBS (Rutherford Back-scattering Spectrometry)와 EPMA (Electron Probe Microscopy Analysis)를 이용하였다.

III. 실험결과 및 고찰

3.1 Mn-Ir의 조성의 영향

Fig. 1은 Ir 조성에 따른 $Mn_{(100-x)}Ir_x(20 \text{ nm})/Ni-Fe(10 \text{ nm})/Zr(10 \text{ nm})/Si$ 의 교환이방성의 변화를 나타낸 그림이다. H_{ex} 는 5 at% Ir의 조성에서부터 증가하기 시작하여 22 at% Ir의 부근에서 219 Oe로 가장 높은 값($J = 0.17 \text{ erg/cm}^2$)을 나타내다가 그 이상의 Ir 조성에서는 감소하여 35 at% Ir 이상의 조성에서부터는 100 Oe 이하의 낮은 값을 나타내고 있다. H_k 는 15 at% Ir까지는 증가하다가 15 at% Ir 이상에서는 안정화되어 약 35 Oe를 나타내고 있다. 이와 같이 15.5~32.0 at% Ir의 조성에서 100 Oe 이상의 높은 H_{ex} 를 나타내고 Ir의 조성의 변화에 따라 H_{ex} 의 값이 급격하게 변하는 것은 반강자성 상인 γ -Mn-Ir의 생성과 밀접한 관계가 있는 것으로 생각된다. Yamaoka에 의하면[12-13] Mn-Ir 합금은 14~31 at% Ir의 조성에서

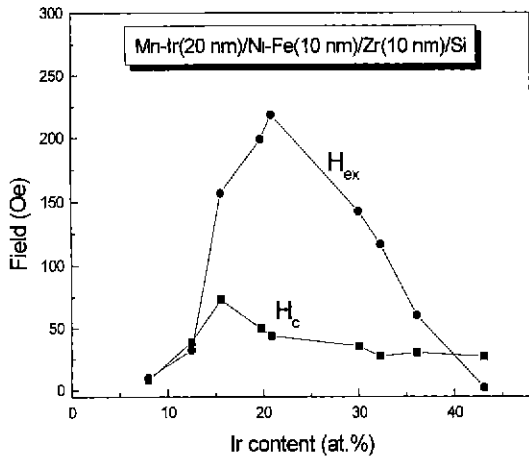


Fig. 1. The variations of H_c and H_{ex} as a function of Ir content of Mn-Ir films for Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(10 nm)/Si.

상온에서 반강자성체인 γ -Mn-Ir 상을 나타내고 14 at% Ir 이하의 조성에서는 비자성체인 FCT의 불규칙상과 γ -Mn-Ir 상이 공존하고 또한 31 at% Ir 이상의 조성에서는 β_1 상과 γ -Mn-Ir 상이 공존한다고 보고하고 있다. 따라서 본 실험에서 15.5~32.0 at% Ir의 조성에서 100 Oe 이상의 높은 H_{ex} 를 나타내는 것은 γ -Mn-Ir 상의 안정화 영역과 관계가 있는 것으로 사료된다.

한편 일반적으로 Mn 계 합금은 Mn 원자간의 거리에 따라 교환결합에 직접적으로 영향을 미치게 되므로 Blocking 온도와 H_c 에 영향을 미친다[14]. Yamada 등에 따르면[14-15] γ -Mn의 경우에 Mn 원자 간의 거리에 따른 교환결합 적분값의 변화를 교환결합 곡선(J_{ij})으로 나타내었다. 이 곡선에서 교환적분 값은 Mn 원자간의 거리가 0.25 nm 부근일 때 음의 최대값을 나타내고 0.39 nm 부근일 때는 부호가 바뀌고 있다 이 때 0.25 nm 부근은 γ -Mn에서 1st 최인접원자 간의 거리이고 0.39 nm 부근은 2nd 최인접원자간의 거리에 해당한다 즉 γ -Mn은 최인접 원자간의 거리가 0.25 nm 일 때 가장 높은 교환결합 상수(J)를 갖는 것을 의미하며 합금의 경우에는 이러한 교환적분 곡선은 합금계의 종류에 따라 변화된다고 보고하고 있다[12, 15]. 또한 이와 같이 Mn 원자 간의 거리와 교환결합 상수를 고려하여 교환결합 특성을 해석하는 이론은 γ -Mn과 Mn-Ir계 외에 CrMn계 합금에서[16]도 잘 적용되고 있다.

따라서 본 실험의 경우에도 이러한 관점에서 조성에 따른 교환이방성의 변화를 해석하고자 한다. Mn-22 at% Ir 조성에서 가장 높은 H_{ex} 의 값을 얻었기 때문에 이 조성에

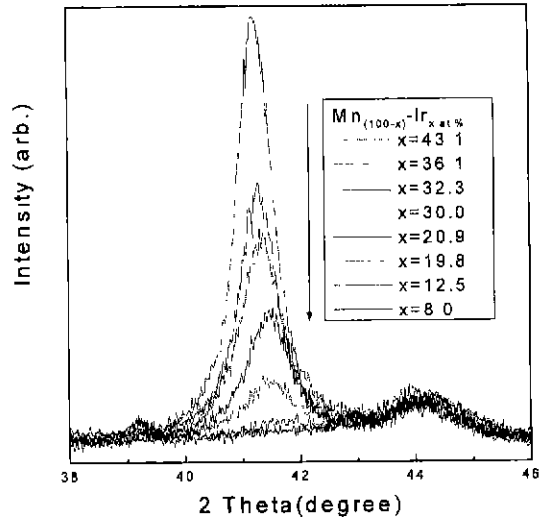


Fig. 2. The XRD pattern of $Mn_{100-x}Ir_x(20 \text{ nm})/Ni-Fe(10 \text{ nm})/Zr(10 \text{ nm})/Si$ with various Ir content of Mn-Ir films.

서의 교환결합상수(J)가 가장 높다고 할 수 있으며 이 때 최인접원자 간의 거리와 두 번째 최인접원자 간의 거리를 구하면 다음과 같다. 먼저 Mn-22at% Ir의 조성에서의 Mn 원자간의 거리를 구하기 위해 XRD 회절에서의 γ -Mn-Ir (111) 면의 회절각도를 Bragg 회절법칙[17]에 넣어 γ -Mn-Ir의 (111) 면간 거리를 구하였다. γ -Mn-Ir (111)의 면간 거리가 0.218 nm이므로 최인접원자간의 거리와 두 번째 인접원자간의 거리는 각각 0.267 nm와 0.378 nm의 값으로 계산된다. 따라서 Mn-Ir계 합금의 경우에는 Mn 원자간의 거리가 0.267 nm일 때 최고의 교환적분 값을 갖으며 또한 최고의 H_{ex} 를 나타내는 것으로 사료된다.

Fig. 2은 Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(10 nm)의 다층박막에 대한 XRD 분석 결과를 나타낸 그림이다. 모든 조성에서 41.5°와 44° 부근에서 γ -Mn-Ir (111)면과 γ -Ni-Fe (111)면의 회절선이 나타나고 있다. Ir 조성의 증가에 따라 γ -Mn-Ir (111)면의 회절선의 위치가 조금씩 왼쪽으로 이동하고 있다. 회절선의 위치가 이동하는 것은 Mn 보다 원자반경이 큰 Ir의 고용량의 증가에 의해 γ -Mn-Ir의 격자상수가 증가하기 때문이다.

또한 Ir의 조성이 증가함에 따라 γ -Mn-Ir (111)면의 회절강도가 증가하고 있으며 이것은 γ -Mn-Ir (111) 우선방위의 증가이거나 Mn-Ir 평균 원자산란인자 값의 증가에 의한 것으로 생각할 수 있다 본 실험에서 γ -Mn-Ir의 (111) 면의 회절강도가 증가하는 원인은 γ -Mn-Ir (111)의 우선방위의 증가보다는 Mn-Ir의 평균 원자의 산란인자의 증가에 의한 것으로 판단된다[18].

3.2 초기진공도에 따른 자기적특성의 변화

스퍼터링의 증착조건 중에서 초기진공도의 변화는 박막의 미세구조와 자기적 특성에 많은 영향을 끼칠 수 있다. 특히 Mn과 같이 산소친화력이 큰 물질은 챔버 내에 잔존하는 산소나 물분자에 의해 증착막의 특성이 변화하게 되므로 초기진공도에 따른 자기적 특성과 미세구조의 변화에 대하여 고찰할 필요가 있다.

Fig. 3은 초기진공도에 따른 Mn-20 at% Ir(20 nm)/Ni-Fe(20 nm)/Zr(10 nm)/Si의 자기적 특성의 변화를 나타낸 것이다. 낮은 초기 진공도(우수한 진공도)에서 작업한 경우에는 비교적 우수한 데이터의 재현성을 확보할 수 있었으나 높은 진공도에서는 데이터의 재현성을 확보하기가 어려웠다. 초기 진공도에 따른 H_{ex} 의 변화를 보면 1.2×10^{-6} Torr 이하의 낮은 진공도에서는 95 Oe 이상의 높은 값을 나타내다가 2.0×10^{-6} Torr 에서 감소하기 시작하여 3.0×10^{-6} Torr 이상에서는 급격하게 감소하여 교환이방성을 잃어버린다. 또한 H_c 는 2.5×10^{-6} Torr 까지는 15~20 Oe를 유지하다가 3.0×10^{-6} Torr에서 약 35 Oe의 값을 나타낸 후 급격하게 감소하여 약 1.5 Oe를 나타내고 있다. 이러한 변화의 원인은 초기진공도가 증가함에 따라 챔버 내에 잔존하는 불순물들이 박막의 성장과정에 유입되어 Mn-Ir의 미세구조에 영향을 주었기 때문으로 생각된다. 따라서 초기진공도에 따른 미세구조의 변화를 고찰하기 위해 높은 H_{ex} 를 나타내는 경우(1.0×10^{-6})와 전혀 교환결합이 나타나지 않는 경우(4.0×10^{-6})의 시편을 선택하여 HRTEM으로 분석하였다.

Photo 1(a)에는 1.0×10^{-6} Torr의 초기진공도에서 증착

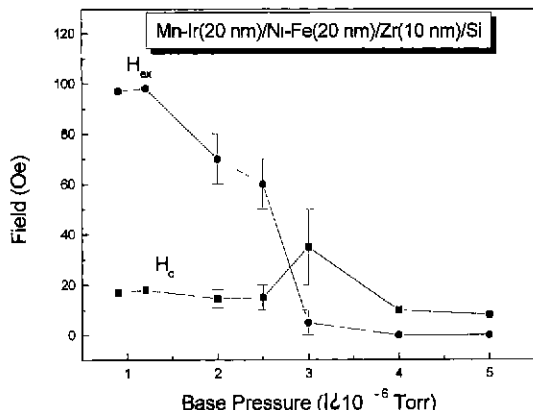
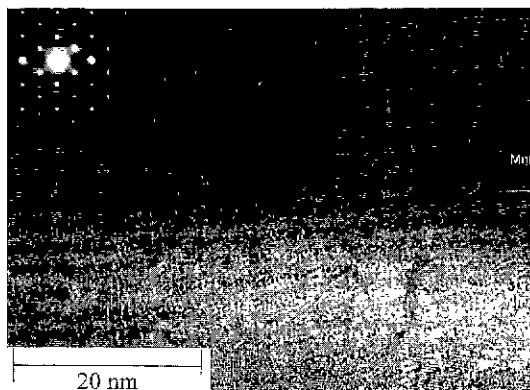


Fig. 3. The variations of H_c and H_{ex} as a function of base pressure for Mn-20 at% Ir(20 nm)/Ni-Fe(20 nm)/Zr(10 nm)/Si.

한 Mn-20 at% Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(5 nm)/Si의 단면 사진과 제한시야 회절패턴을 나타내었다. 회절 패턴에서 Mn-Ir와 Ni-Fe의 (111)면에 대한 회절 spot이 Si의 (100)와 (-100)면의 회절 spot 의 바로 위와 아래에 나타난 것으로 보아 Si 기판의 수직방향으로 Mn-Ir/Ni-Fe의 (111)면이 우선적으로 성장된다는 것을 알 수 있다. 단면 사진을 보면 얇고 규칙적인 줄무늬는 여러 결정면의 회절 선과 투과선의 간섭상을 나타낸 것이며 Si wafer 위의 비정질 층은 자연 산화된 실리콘 산화물이다. Zr 층은 나노 결정립과 비정질 상이 혼재되어 있으며 Ni-Fe 층은 결정립의 높이가 막 두께와 같은 ~10 nm이고 직경이 9~11 nm의 주상정을 갖는 주상정구조를 나타내고 있다. Mn-Ir 층은 결정립의 직경과 높이가 각각 9~15 nm와 9~11.5 nm의 주상정구조를 나타내고 있다. 또한 Ni-Fe/Mn-Ir 계면에서 격자 줄무늬(lattice fringe)가 연속적으로 연결된 것으로 보아 Mn-Ir 결정립과 Ni-Fe 결정립 간에 grain-to-grain epitaxy 관계를 갖는 것을 알 수 있다. 결정립 크



(a) 1×10^{-6} Torr



(b) 4×10^{-6} Torr

Photo 1. The high resolution TEM micrographs of Mn-Ir/Ni-Fe/Zr/Si multilayers with various base pressure. (a) 1×10^{-6} Torr (b) 4×10^{-6} Torr

기는 오차를 줄이기 위해 5~8 부위의 각각의 고분해능 사진에서 5~8 개의 결정립 크기를 측정하여 결정립의 크기를 결정하였다.

반면에 4.0×10^{-6} Torr의 초기진공도에서 증착한 경우 (Photo 1(b))에는 Ni-Fe 층의 결정립의 형상은 유사하지만 결정립 크기는 1.0×10^{-6} Torr의 경우에 비해 약간 작다. 또한 Mn-Ir 층은 미세한 결정립(2~3 nm)과 비정질 상이 혼합하고 있는 조직을 보이고 있으며 특정한 우선방위의 증거는 전혀 나타나지 않고 있다. 이와 같이 높은 초기진공도에서 증착한 경우 Mn-Ir의 결정립 크기가 급격하게 작아지는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 Mn-Ir의 결정립 크기와 교환이방성 간에 깊은 관계가 있음을 알 수 있다.

높은 초기진공도($>3.0 \times 10^{-6}$ Torr)에서 교환이방성자장이 없어지는 것은 반강자성체인 Mn-Ir의 결정립 미세화와 비정질화에 의한 것으로 사료된다. Mn-Ir/Ni-Fe/Zr 다층막이 H_{ex} 를 나타내기 위해서는 반강자성체인 Mn-Ir의 결정립의 크기가 어느 정도 이상의 크기(\geq JKA/KAFi)를 가지고 있어야 한다[19-20] 그런데 4.0×10^{-6} Torr 이상의 초기진공도에서 증착한 박막시편은 반강자성체의 결정립의 크기가 너무 작아 초상자성 특성을 나타내기 때문에 교환이방성에 기여하지 못하게 되고, 또한 Mn-Ir층에 존재하는 비정질상은 반강자성 상이 아니기 때문에 H_{ex} 에 기여하지 못하는 것으로 사료된다.

3.3 Mn-Ir 층의 두께의 영향

Fig. 4는 Mn-Ir 반강자성층의 두께에 따른 교환이방성의 변화를 고찰하기 위해 Ta(5 nm)/Mn-Ir(t nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(10 nm)/Si에 대한 H_{ex} 와 H_c 값을 나타낸 것이다. 2 nm의 Mn-Ir 두께에서는 교환이방성이 전혀 나타나지 않고 있으며 4 nm 이상의 두께에서부터 교환이방성이 나타나고 있다. 4 nm의 Mn-Ir 두께에서 약 140 Oe의 H_{ex} 를 나타낸 후 8 nm 이상에서는 약 210 Oe로 포화된다. 반면에 H_c 는 4 nm에서 65 Oe로 가장 높은 값을 나타내다가 두께가 증가함에 따라 점점 감소하여 20 nm 이상에서는 35 Oe로 포화된다. 이와 같이 반강자성체의 두께에 따라 교환이방성의 변화는 FeMn/Ni-Fe과 Ni-Fe/NiO의 다른 교환결합형 다층막과 같은 거동을 나타내며 그 원인 또한 유사한 것으로 사료된다. 그러나 H_{ex} 가 나타나기 시작하는 Mn-Ir 반강자성층의 임계두께는 NiO의 경우에 비해 훨씬 얇다. 임계두께는 Mauri와 Meiklejohn에 의해 제안[20-21]된 비와 같이 반강자성체의 이방성계수(KAF)에 반비례한다. 따라서 Mn-Ir의 KAF는 NiO에 비해 크기 때문에

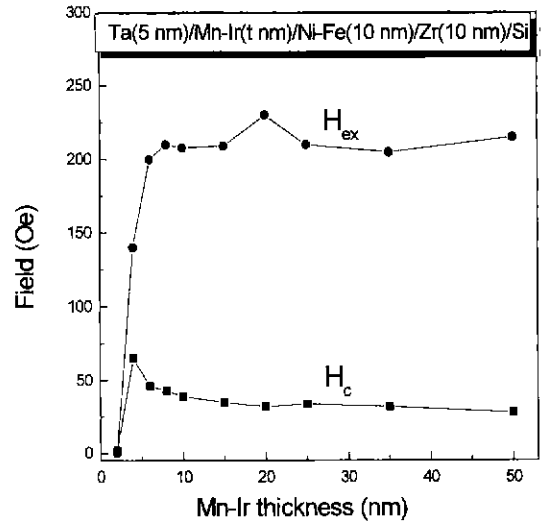


Fig. 4. The variations of H_c and H_{ex} as a function of the thickness of Mn-Ir layer for Ta(5 nm)/Mn-Ir(t nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(10 nm)/Si.

임계두께가 작아지게 되는 것으로 사료된다.

일반적으로 교환이방성을 나타내고 있는 다층막은 training 효과를 갖고 있기 때문에 실제 소자에 적용될 때는 training 효과를 고려해야 한다. Training 효과는 교환이방성을 갖는 시편의 H_{ex} 와 H_c 값이 반복적인 자화반전에 의해 점차 감소하는 현상을 말한다. 따라서 Mn-Ir의 두께에 따른 자기적 안정성을 비교하기 위해 Mn-Ir의 두께가 4 nm인 시편과 10 nm의 시편을 선택하여 training 효과를 살펴보았다

Fig. 5는 Zr(10 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Mn-Ir(t nm)에서 Mn-Ir의 두께가 각각 4, 10 nm인 시편의 H_{ex} 와 H_c 의 값을 반복적으로 측정된 결과를 나타낸 그림이다. 이때 처음 5회까지는 자장을 반전시킬 때마다 측정하고 그 후 자장을 5회 동안 연속적으로 반전시킨 후 자기적 특성을 측정하고 다시 5회 동안 연속적으로 자장을 반전시켰으며 최종적으로 50여회 동안 자장을 반복한 후 측정하였다. Mn-Ir의 두께가 4 nm인 경우에는 처음 5회 동안 자장반전 후 H_{ex} 와 H_c 의 저하는 모두 약 15 Oe이다. 반면에 Mn-Ir의 두께가 10 nm인 경우에는 H_{ex} 는 50 회까지 5 Oe 이하의 감소를 나타내고 있다. 또한 H_c 는 처음 5회 동안 5 Oe의 감소를 나타낸 후 거의 변화하지 않는다. 이와 같이 Mn-Ir의 두께가 4 nm에 비해 10 nm의 두께에서 우수한 자기적 안정성을 얻을 수 있는 원인은 Mn-Ir의 결정립의 크기와 관련지어 설명할 수 있다.

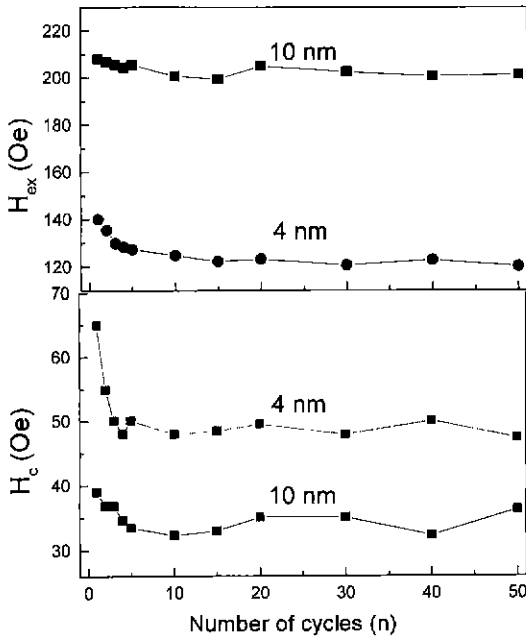


Fig. 5. The training effect of Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(10 nm)/Si and Mn-Ir(10 nm)/Ni-Fe(20 nm)/Zr(10 nm)/Si multilayers.

일반적으로 반강자성체는 결정립이 그대로 자구가 되는 것이 에너지적으로 안정하기 때문에 결정립의 크기가 자구의 크기와 동일하다고 볼 수 있다[7]. 또한 Mn-Ir 막이 주상조직을 갖는다고 가정하면 결정립의 크기는 두께에 비례하게 된다. 즉 Mn-Ir의 두께가 4 nm 일 때 보다 10 nm 일 때 더 큰 결정립을 갖기 때문에 더 큰 자구구조를 갖는다고 간주할 수 있다. 이 때 임계크기 이하의 자구는 에너지적으로 불안정하기 때문에 연속적인 자화반전에 의해 주변의 다른 자구와 합쳐지게 된다. 따라서 상대적으로 임계크기의 결정립을 많이 갖고 있는 4 nm의 경우가 10 nm의 경우 보다 더욱 뚜렷한 training 효과를 나타나게 된다. 반면에 Mn-Ir의 두께가 10 nm 일 때는 결정립의 크기가 비교적 크기 때문에 자구들이 에너지적으로 안정하게 되어 training 효과가 거의 나타나지 않는 것이다.

3.4 Zr 하지층의 영향

Fig. 6는 Zr 하지층의 두께에 따른 자기적 특성의 변화를 나타낸 것이다. Zr 하지층을 삽입하였을 경우에는 사용하지 않은 경우 보다 H_{ex} 는 30 Oe 가량 증가하였으며, 반면에 H_c 는 20 Oe 가량 감소하였다. 이러한 자기적 특성의 변화에 대한 원인을 미세구조의 관점에서 고찰하고자

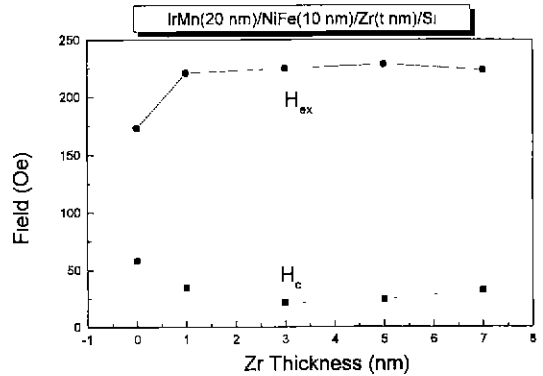


Fig. 6. The variations of H_c and H_{ex} as a function of the thickness of Zr layer for Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(t nm) multilayers.

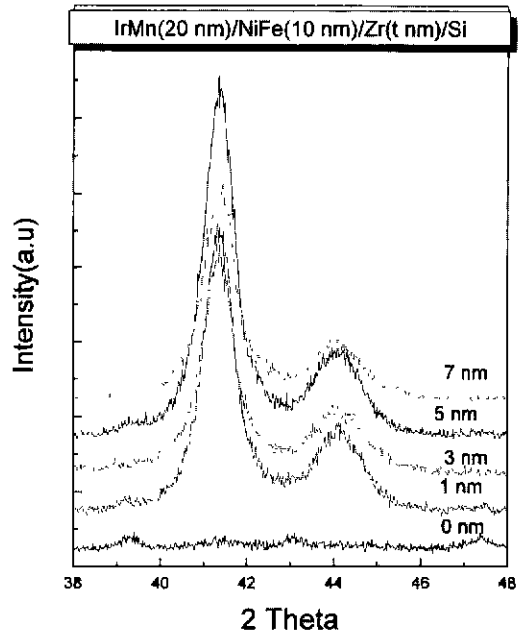


Fig. 7. The XRD patterns of Mn-Ir(20 nm)/Ni-Fe(10 nm)/Zr(t nm) with various thickness of Zr buffer layer

XRD 회절시험을 하였다. Fig 7의 XRD pattern을 살펴 보면 Zr 하지층의 삽입에 의해 γ -Mn-Ir의 (111)면과 Ni-Fe의 (111)면의 회절강도가 증가하고 있으며 이것은 Zr에 의해 Ni-Fe와 Mn-Ir의 (111) 우선방위가 증가하는 것을 의미한다. 그러나 Zr의 삽입에 의한 H_{ex} 의 증가는 크지 않을 뿐만 아니라 Zr을 삽입하지 않을 경우에도 비교적 높은 H_{ex} 값을 나타내기 때문에 단지 (111) 우선방위에 의한 H_{ex} 의 증가라고 결론을 지을 수는 없다 다만 두가지의 가능성을 예상할 수 있다. 먼저 (111) 우선방위에 의해 격자

상수의 차이가 비슷한 Ni-Fe와 Mn-Ir 간의 epitaxy의 향상이고 두 번째는 Ni-Fe층의 결정립 크기의 증가에 의한 Mn-Ir의 결정립 크기의 증가이다. 교환이방성의 효과가 증가하기 위해서는 강자성층과 반강자성체의 결정립들 간에 epitaxy를 이루는 것이 유리하다. Mn-Ir은 Ni-Fe와 같은 구조를 갖고 있으며 격자의 크기가 비슷하기 때문에 Ni-Fe와 Mn-Ir 모두 (111) 우선방위가 발생하면 epitaxy를 이루기가 쉽게 된다. 즉 γ -Mn-Ir와 γ -NiFe 의 (111) 우선방위의 증가는 Ni-Fe와 Mn-Ir 간의 epitaxy를 증가시키기 때문에 H_{cx} 를 향상시킬 수 있는 것으로 사료된다. 두 번째는 Zr을 삽입하면 Ni-Fe의 결정립 크기를 증가시키게 되고 따라서 그 위에 증착되는 Mn-Ir의 결정립 크기도 증가하게 된다. 이와 같은 결정립 크기의 증가에 의해 H_{cx} 가 증가할 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 Ir의 조성과 증착조건을 변화시키고 또한 Mn-Ir 층의 두께를 조절한 후 자기적 특성과 미세구조에 대하여 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Mn - 22 at% Ir의 조성에서 219 Oe($J=0.17 \text{ erg/cm}^2$)의 가장 높은 H_{cx} 와 30 Oe의 낮은 H_c 를 얻을 수 있었다. 이 Hex 값은 현재까지 보고 되고 있는 Mn-Ir/Ni-Fe 교환결합 다층막에서는 가장 높은 값이다.

2) 초기진공도가 증가할수록 교환이방성이 급격하게 쇠퇴하고 있으며 이것은 Mn-Ir의 비정질화와 결정립 미세화에 의한 것이다.

3) Mn-Ir의 두께에 따른 자기적 특성과 안정성을 분석한 결과 Mn-Ir의 두께가 8 nm 이상 일 때 높은 H_{cx} 와 낮은 H_c 및 우수한 자기적 안정성을 얻을 수 있었다.

4) Zr의 삽입에 의해 교환이방성특성이 향상되었으며 이것은 epitaxy 효율의 향상과 결정립의 조대화에 의한 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] J. C. S. Kools, IEEE Trans. Magn., **32**(4), 3165-3184(1996).
- [2] M. N. Baibich, 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).
- [3] B. Dieny, V. S. Speriosu, S. Metin, S. S. Parkin, B.A. Gurney, J. Appl. Phys., **69**, 4774(1991).
- [4] B. Dieny, V. S. Speriosu, S. S. Parkin, B.A. Gurney, D. R. Wilhoit and D. Mauri, Phys. Rev. B. **43**, 1297(1991).
- [5] Sang-Suk Lee, Do-Guwn Hwang, J. Appl. Phys., **81**(8), 5298(1997).
- [6] A. P. Malozemoff, J. Appl. Phys., **63**(8), 3874(1988).
- [7] Chih-Huang Lai, T. C. Anthony, Eiji Iwamura, and Robert L. White, IEEE Trans. Magn., **32**(8), 3419(1996).
- [8] T. Lin, C. Tsang, R.E. Fontana and J.K. Howard, IEEE Trans. Mag., **31**, 2585(1995).
- [9] H. N. Fuke and Y. Kamiguch, Jpn. J. Appl. Magn. Soc., **22**, 58(1998).
- [10] T. Yamaoka, M. Mekata and H. Takaki, Jpn. J. phys. Soc., **31**, 301(1971).
- [11] H. N. Fuke, K. Saito, Y. Kamiguchi, H. Iwasaki and M. Sahashi, J. Appl. Phys., **81**, 4004(1997).
- [12] Takashi Yamaoka, Jpn. J. phys. Soc., **36**, 445(1974).
- [13] Takashi Yamaoka, Mamoru Mekata, J. Phys. Soc. Japan, **36**, 438(1974)
- [14] Takemi Yamada, N. Kunitomu, Y. Nakai J. Phys. Soc. Japan. **28**, 615(1970).
- [15] Y. Endou and Y. Ishikawaw, Solid State Phys., **5**, 316(1970)
- [16] Susumu Soeya, H. Hoshiya, R. Arai and M. Fuyama, J. Appl. Phys., **81**(9), 6488(1997).
- [17] B. D. Cullity: Elements of X-ray Diffraction 2nd edition, p. 139, (Addison Wesley, 1978).
- [18] Jae-Chul Ro, PhD thesis, SungKyunKwan Univ., p. 137-139(1998)
- [19] T. Lin, C. Tsang, R. E. Fontana and J. K. Howard, IEEE Trans. Magn., **31**(6), 2585(1995)
- [20] Susumu Soeya, Moriaki Fuyama, Shigeru Tadokoro, and Takao Imagawa., J. Appl. Phys., **79**(3), 1604(1996).
- [21] W. H. Meiklejohn and C. P. Bean, Phys. Rev., **105**, 904(1957).

A Study on the Magnetic Properties and Microstructures of Mn-Ir/Ni-Fe/Zr Multi layers with Various Compositions, Thicknesses and Base Pressures

J. C. Ro, Y. S. Choi, K. S. Lee, Y. S. Kim and S. J. Suh

Department of Metallurgical Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon, 440-746, Korea

(Received 25 September 1999, in final form 20 April 1999)

The magnetic properties between Mn-Ir antiferromagnetic layer and Ni-Fe ferromagnetic layer have been investigated in Mn-Ir/Ni-Fe/Zr on Si wafer formed by magnetron sputtering. Mn-Ir was sputtered from Ir chips and Mn target using D.C. power, Ni-Fe and Zr were deposited from Ni-Fe and Zr targets using D. C. power under Ar atmosphere. We studied the dependence of the magnetic properties on Ir content of Mn-Ir layer for Mn-Ir/Ni-Fe bilayer, and obtained the highest H_{ex} of 219 Oe and the low H_c of 30 Oe. And then focused on the effect of base pressure for Mn-Ir containing multilayers. Our experimental data showed that if the base pressure is higher than 3.0×10^{-6} Torr, the exchange anisotropy of Mn-Ir/Ni-Fe/Zr disappeared probably due to the grain refining of Mn-Ir film. In addition we have studied the dependence of Zr buffer on magnetic properties of Mn-Ir/Ni-Fe/Zr multilayers, and observed that Zr buffer bring about (111) texture and lower H_c of Mn-Ir/Ni-Fe/Zr multilayer.