

후방산란법(RBS)/양성자 여기 X-선 방출법(PIXE)을 이용한 다층자성박막의 두께 및 조성 정량분석

김태곤 · 전기영 · 황정남

연세대학교 물리 및 응용물리 사업단

신윤하 · 김영만 · 송종한*

한국과학기술연구원, 특성분석센터

장성호 · 김광윤

한국과학기술연구원, 미래기술연구본부 나노소자연구센터

(2001년 11월 6일 받음, 2001년 12월 10일 최종수정본 받음)

FeMn에 의해 교환 바이어스된 synthetic antiferromagnet(CoFe/Ru/CoFe)을 가진 Top Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/Ru/CoFe/FeMn/Ta 스핀 밸브 구조를 마그네트론 스퍼터링법에 의해 증착하였다. 이러한 스핀 밸브에서는 자유층, 구속층등의 두께 및 조성이 층간 결합력의 세기를 비롯한 자성특성에 영향을 미치게 된다. 후방산란법은 두께 및 조성에 대한 절대정량이 가능하며 비파괴 분석법이라는 장점을 지니고 있으나, 원자번호가 20번 이상인 주기율표상의 인접원소로 이루어진 자성박막을 분석하는데 있어서 신호의 중첩현상으로 인해 분석이 불가능하였다. 본 연구에서는 element-specific 한 분석기술인 양성자 여기 X선 검출법과, 절대 정량이 가능하고 깊이분해능을 현저히 향상시킨 grazing-exit 후방산란법(RBS : Rutherford Backscattering Spectrometry)을 동시에 사용하여 상호 보완적인 분석을 함으로써 스핀밸브에 대한 성분 및 두께에 대한 정량분석을 수행하였다. 이를 위하여 먼저 spin valve 구조에서 자성층인 NiFe, CoFe, FeMn 단일층이 증착된 시료에 대한 표준화를 수행함으로써 spin valve 구조에서 grazing-exit 후방산란 스펙트럼 상의 중첩된 신호를 simulation을 통하여 분리가 가능하였으며, 특히 Ru층의 두께는 Å 단위의 정확도로 측정이 가능 하였다.

주제어 : grazing-exit 후방산란법(RBS), 양성자 여기 X-선 방출법(PIXE), 스핀 밸브, 자유층, 구속층

I. 서 론

최근 국내외 연구동향 중 가장 활발하게 논의 되는 연구 분야가 나노 기술에 관한 것이다. 나노기술 중 가장 핵심적인 것은 소자의 크기를 나노스케일로 제조하는 것과 박막의 구조를 나노두께로 제어하여 새로운 물성을 제시하는 것이라고 할 수 있다. 이와 같은 경향은 자기소자 및 자성물리를 연구하는 분야에서도 예외는 아니며, 특히 나노 두께의 다층박막에서 거대자기저항(GMR) 및 터널링 자기저항(TMR) 거동이 보고된 이래로 이 분야의 연구가 매우 활발히 이루어 지고 있는 실정이다. 이와 같이 기초, 응용 연구 모두 활발한 것은 이 분야의 산업에 대한 기여도가 높기 때문이라고 생각된다. 일반적으로 나노두께를 갖는 다층자성박막의 구조 분석은 방사광 가속기를 이용한 XRD 및 고 분해능 전자현미경을 사용하며, 표면 분석은 Atomic Force Microscopy(AFM), Scanning Tunneling

Microscopy(STM) 등이다. 그러나, 나노 스케일 두께의 다층박막의 이름에서 알 수 있는 바와 같이 완벽한 정보를 제공하는 분석방법은 제시되지 않고 있다. 특히 나노구조 다층박막의 조성 및 두께를 정확하게 측정할 수 있는 방법이 중요한 이슈중의 하나이지만 현재 까지 정확한 분석 방법은 제시되지 않고 있다. 최근 후방산란법을 다층박막의 구조 및 성분 분석에 이용하고자 하는 시도가 많이 보고되고 있다. 예를 들면 후방산란법은 절대정량이 가능하며 비파괴 분석법이라는 장점을 지니고 있어 반도체, 금속, 세라믹 등의 박막 분석에 널리 활용되어져 오고 있으며, 또한 element-specific 한 분석기술인 양성자 여기 X선 검출법 등이 널리 사용되고 있다[11]. 그러나 자성 다층박막의 경우 비교적 비슷한 원소들로 구성되어 있어 일반적인 후방산란법을 사용 시 신호의 중첩현상으로 인해 분석에 어려움을 지니게 된다. 그러므로 후방 산란 법을 사용하여 정량적인 분석을 시도할 시 깊이 분해능을 향상시킨 grazing-exit 방법이 제시되고 있다[12].

*Tel: (02)958-5960, E-mail: jhsong@kist.re.kr

본 연구에서는 다층 다원소 자성박막인 synthetic spin valve에 대해 고에너지 분석기술 중에서 element-specific 한 분석기술인 양성자 여기 X선 검출법과, 절대 정량이 가능하고 깊이분해능을 향상시킨 grazing-exit 후방산란법을 동시에 사용하여 상호 보완적인 분석을 하여 자성 다층박막에서 후방산란법에 의한 분석 가능성을 제시하고자 하였다.

II. 실험 방법

그림 1에서 보는 바와 같이 수 MeV의 에너지를 가진 입사이온이 고체 시료표면과 충돌했을 때 여러 가지의 상호작용과 과정들이 일어난다. 입사 이온이 표적원자의 원자가전자나 내각전자와 상호작용을 하였을 때 원자를 여기시키거나 이온화시키게 되며 입사 이온이 표적 핵과 매우 가까이 접근했을 때 입사이온과 표적 핵 사이에 쿨롱상호작용이나 핵 상호작용이 일어나게 된다. 이러한 여러 가지 상호작용의 결과들로부터 분석하고자 하는 시료의 성분, 구조, 상호작용 과정에 대한 정보를 얻을 수 있다. 이러한 고에너지 이온선을 이용한 분석기술로[1-4]는 그림 1

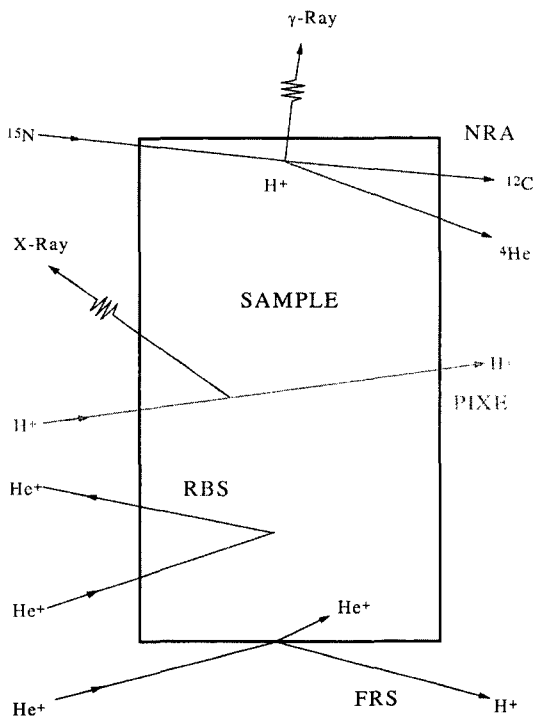


Fig. 1. Schematic illustration of ion-solid interactions, their consequences and possible application.

에서 보는 바와 같이 후방산란법, 전방산란법(FRS : Forward Recoil Spectrometry), 핵반응법(NRA : Nuclear Reaction Analysis), 양성자 여기 X선 검출법(PIXE : Proton-Induced X-ray Emission)[5]등과 이러한 방법들과 같이 조합하여 사용하는 이온 채널링(ion channeling)등이 있다.

다음으로 후방산란법 분석에서 사용된 Grazing exit 후방산란 법 및 양성자 여기 X선 검출법에 관하여 자세히 알아보하고자 한다.

2.1. Grazing-exit 후방산란법

후방산란법의 깊이분해능을 향상시키기 위한 방법으로는 i) 분석시스템의 에너지 분해능을 향상시키거나 ii) 박막 내에서의 입사입자의 에너지 손실을 증가시키기 위해 입사입자의 종류, 에너지, scattering geometry를 변화시키는 방법 등이 있다. 분석시스템의 에너지 분해능은 주로 검출기의 에너지 분해능에 의해 좌우되게 되는데 일반적으로 사용되어 지고 있는 Si 반도체 에너지 검출기를 사용할 경우 14 keV 이하로 낮추기는 어렵다. 또한 입사입자의 종류 및 에너지를 바꾸는 경우 무거운 입사입자에 의한 검출기의 손상 산란단면적과 및 러더포드 후방산란 단면적 간의 차이에 의해 정량분석에 어려움을 지니게 된다. 따라서 후방산란법의 깊이분해능을 향상시키기 위한 가장 효율적인 방법은 박막 내에서의 입사입자의 에너지 손실을 증가시키기 위해 scattering geometry를 바꾸는 방법이다. 그림 2에서 보는 바와 같이 일반적인 후방산란법은 검출기의 위치가 후방에 위치하고 있어 입사입자 및 후방산란된 입사입자의 유효 경로 길이가 실제 박막의 두께와 거의 같다. 그러나, 그림에서 보는 바와 같이 검출기를 시료

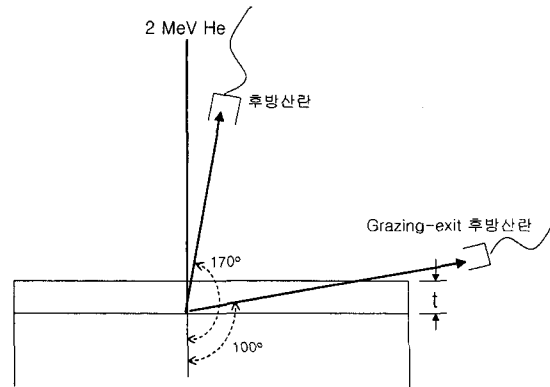


Fig. 2. (a) Schematic diagram of experimental setup for conventional backscattering and grazing-exit backscattering.

표면에 대해 기울여 위치 시킬 경우 후방산란된 입사입자의 경로 길이가 매우 커지게 되므로 이에 따라 진행시 잃게 되는 에너지 손실 또한 매우 커지게 된다. 일반적인 Si 반도체 에너지 검출기의 에너지 분해능이 15~18 keV일 때 일반적인 후방 산란법의 경우 깊이 분해능은 200~300 Å에 달하게 된다. 그러나 Williams[6]등의 보고에 의하면 grazing-exit 후방산란법을 적용 시 25 Å까지 깊이 분해능을 향상시킬 수 있다.

2.2. 양성자 여기 X-선 검출법

전자나 양성자를 조사하였을 경우 표적물질로부터 발생하는 특성 X-선을 분석하는 것은 EDS, EMPA, XRF와 유사하나 PIXE는 0.3~10 MeV의 에너지를 가진 이온 조사시 생성되는 특성 X-선을 분석하는 방법이다. 입사이온의 입사각도나 에너지를 바꿈으로써 깊이에 따른 조성분석이 가능하고 PIXE법은 X-선 방사 시 배경신호가 전자 조사의 경우보다 현저히 낮기 때문에 미량원소분석이 가능하다(free standing foil: 0.1-10 p.p.m, bulk specimen: 1-100 p.p.m, surface layers on thick specimen: 10¹³-10¹⁵ at/cm²)[7].

PIXE법은 특히 표면 층에 민감하여 박막과 같은 얇은 시편연구에 적합하고, XRF는 bulk물질 특성연구에 적합하다. 또한 파장분산형 검출기를 사용할 경우 원소들의 화학결합을 규명할 수 있으며, EMPA나 EDS등은 시료가 진공중에 있어야 하나 PIXE의 경우는 진공중에서 뿐만 아니라 대기중에서도 분석이 가능하여 액체나 기체시료의 분석에 적합하다. 또한 분석시간이 짧으며 표준시료가 있을 시 2~10%의 정확성을 지닌다

이온은 그것이 가지는 에너지에 따라 일련의 과정을 통하여 에너지를 잃으면서 깊이 방향으로 진행을 한다. 이때, 이온의 입사 저지능(stopping power)을 ϵ 이라고 나타내면 다음과 같다.

$$\epsilon = \epsilon_{\text{Electronic}} + \epsilon_{\text{Nuclear}} \tag{1}$$

입사이온의 종류와 입사하는 모재에 의해 조금씩 변화는 있지만, 에너지가 큰 경우 주로 전자적 저지능에 의한 손실이 나타나고 에너지가 작은 경우 주로 핵 저지능에 의한 에너지 손실이 발생한다고 알려져 있다. 이온에 의한 원자의 전리과정은 전자적 저지능에 의해 발생한다. 고에너지의 이온이 고체 속을 진행할 때 내각전자를 전리시키고 연속적인 과정으로 외각전자가 이때 발생한 빈 공동을 채움으로서 각 원자의 특성 X-선이 발생된다. 박막에 있는

표적원자의 양이 충분히 적다면 혹은 박막의 두께가 얇다면, 표적에 있는 원자번호 Z의 원자에 의해 발생된 X-선의 전체 양을 $N_x(Z)$ 라고 하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$N_x(Z) = \frac{\Omega}{4\pi} \sigma_x f T_z \frac{Q}{q_e} \tag{2}$$

여기서 t_z 는 표적원자의 양 또는 면밀도(atoms/cm²), Q는 입사된 이온의 양, Ω 는 검출기의 입체각, σ_x 는 특성 X-선 발생 단면적, e 는 전자의 기본 전하량, q 는 입사 이온의 전자 가수(H는 +1), f 는 검출기의 효율이다. 마지막으로, PIXE는 후방산란된 이온이 X-선 검출기 쪽으로 입사되는 것을 방지하기 위해 흡수막을 사용하는데, T는 시료와 검출기 사이에 놓인 흡수막의 X-선 투과도를 나타낸다.

여기서 $Y_{\text{eff}}(Z)$ 는 atom/cm²당 입사된 이온 당 발생하는 X-선의 발생량이다. 따라서 X-선의 발생량은 다음과 같이 기술할 수 있다.

$$N_x(Z) = Y_{\text{eff}}(Z) t_z Q \tag{3}$$

식 (3)에서 PIXE system이 가지는 요소를 제외하고서는 X-선의 발생량은 박막내의 각원소의 두께(t_z)와 입사된 이온의 양(Q)에 비례함을 알 수 있다. 여기서 $Y_{\text{eff}}(Z)$ 는 PIXE 분석 system에서 야기되는 비례상수로 생각할 수 있다. 따라서, Q를 고정하고 나면 즉, 시료에 입사시킨 수 소이온의 양을 고정하면 X-선 발생량은 시료의 두께(t_z)만의 함수로 정량화가 가능하다.

2.3. 시료제조 및 분석

2인치 크기의 6개 타겟들을 가진 직류마그네트론 스퍼터링 시스템으로 SiO₂가 증착되어 있는 Si(100) 기판 위에 Ta/Mn₅₀Fe₅₀/Co₉₀Fe₁₀/Ru/Co₈₄Fe₁₆/Cu/Co₈₄Fe₁₆/Ni₈₁Fe₁₉/Ta 스펀 밸브 다층박막을 제조하였다. 스퍼터링 장비의 초기 진공도는 약 2×10⁻⁸ torr 정도였다. 각 타겟의 증착속도는 전력을 변화시켜 0.5~3.5 Å/sec로 조절하였고, 아르곤(Ar)의 압력은 1 mTorr로 하였으며, 자성층에 유도자기이방성의 형성 및 FeMn에 의한 교환자기이방성을 형성시키기 위하여 영구자석으로 증착 중에 100 Oe를 인가하였다. 또한 SiO₂가 증착된 Si 기판위에 MnFe, CoFe, NiFe, FePt 단일층이 증착된 표준시료를 제작하였다.

이러한 spin valve에 대해 grazing-exit 후방산란법 및 양성자 여기 X선 검출법을 이용하여 성분 및 두께에 대한 정량분석을 수행하였다. Grazing-exit 후방산란법 및 양성자 여기 X선 검출법에 사용된 입사입자는 각각 2 MeV He 이온과 3.4 MeV H 이온이 이용하였다. 깊이분해능을

향상시키기 위한 Grazing-exit 후방산란법의 산란각은 110°로 하였으며, PIXE 분석시 검출기의 각도는 배경신호 감소를 위해서 이온빔 입사 방향에 대해 135°에 위치하도록 하였다. 입사되는 이온의 양(Q)을 고정하여 정량화가 가능하도록 하였고, 이때의 이온 선속(flux)은 검출기의 신호를 증폭하는 증폭기의 불감시간에 의한 손실(dead time losses)을 줄이기 위해 10 nA 이하로 하였다. 또한, PIXE 분석을 위해 미국 Ortec사의 HPGe 검출기(IGLET-X)[8]가 사용되었으며, HPGe 검출기의 X-선 분해능은 ⁵⁵Fe 방사성동위원소에서 발생하는 5.9 keV X-선 원에 대해서 반폭치가 145 eV이다. 양성자 여기 X-선 분석시 제동복사 등에 의한 배경신호를 제거하고 각 특성 X-선의 면적을 계산하기 위해서 WinAxil code를 이용하였고, channel당 에너지 calibration을 위해서 방사성 동위원소인 ¹³³Ba의 30.625 keV, 4.934 keV, 4.620 keV, 4.268 keV를 사용하여 최소자승법(least square fitting)으로 구하였다. WinAxil code는 XRF 또는 EPMA 분석용으로 개발된 프로그램으로 Gaussian 분포의 피크와 non-Gaussian 피크의 tailoring, 제동복사에 의한 배경신호 계산, 스펙트럼 channel당 에너지 계산 및 이에 따른 peak search 등이 가능하도록 되어 있다. 그리고, 후방산란 분석을 위해 RUMP code[9]를 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

PIXE 분석에 있어서 정량화의 개념을 도입하기 위해서는 먼저 측정 시스템에 맞는 표준화가 필요하다. 즉, 분석하고자 하는 스펙트럼 구조 자성박막내의 원소들에 대한 atom/cm²당 입사된 이온 당 발생하는 X-선의 발생량인 $Y_{eff}(Z)$ 를 구하는 것이 필요하다. 표준화를 위해 이번 자성박막 분석에 사용된 동일한 직류 스퍼터링 타겟을 이용하여 SiO₂가 증착된 Si 기판위에 MnFe, CoFe, NiFe, FePt 단일층이 증착된 표준시료들을 준비하였다.

그림 3은 NiFe 단일층 표준시료에 대한 양성자 여기 X-선 분석 스펙트럼이다. 그림에서 보는 바와 같이 Fe K_α, Fe K_β, Ni K_α, Ni K_β, 신호가 명확히 분리되어 있다. 반면에 그림 4는 동일 시편에 대한 후방산란 스펙트럼으로써 Ni과 Fe 신호가 분리되지 않고 중첩되어 있음을 볼 수 있다. 이러한 이유는 후방산란 분석시 원자번호가 30 미만인 경우에만 분해능(resolving power)이 1 이상인데 반해 양성자 여기 X-선 분석시 분해능은 모든 원소에 대해 1보다 훨씬 크기 때문이다. 그림 3으로부터 WinAxil code를 이

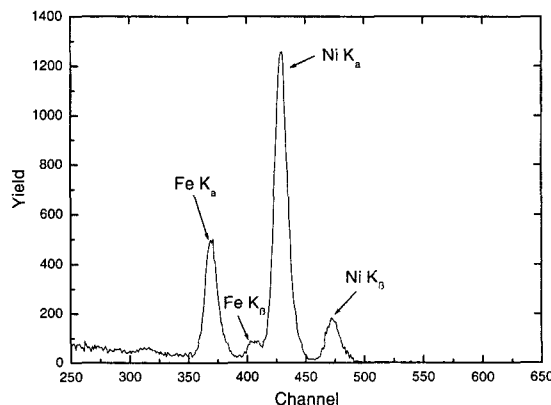


Fig. 3. PIXE spectrum for the FeNi/SiO₂/Si sample.

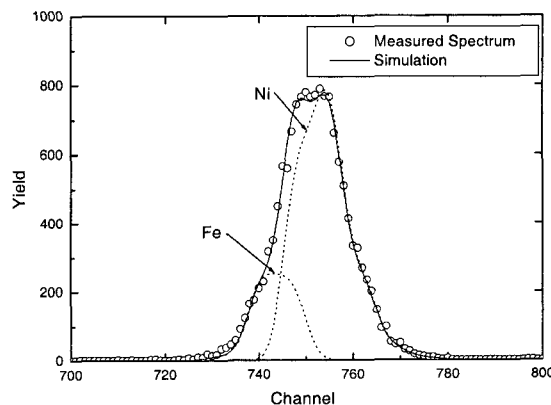


Fig. 4. Grazing-exit backscattering spectrum for the FeNi/SiO₂/Si sample.

용하여 배경신호 제거 후 구한 Fe K_α, Ni K_α 각각의 면적은 6226와 17071이었다. 이 값들은 표적에 있는 Fe와 Ni 원자에 의해 발생한 X-선 전체의 양 $N_x(Fe)$, $N_x(Ni)$ 에 각각 해당한다. 그림 4는 동일한 FeNi 시료에 대한 grazing-exit 후방산란 스펙트럼이다. 그림에서 보는 바와 같이 “o”로 표시되어 있는 측정스펙트럼은 Fe와 Ni 신호가 중첩되어 있음을 알 수 있다. RUMP code를 이용하여 Fe와 Ni의 조성비를 fitting한 결과 조성비가 1:3인 경우 그 fitting 값과 측정스펙트럼과 가장 잘 일치하였다. 이 후방산란 스펙트럼으로부터 구한 FeNi 박막의 두께는 20 nm였다. 이로부터 구한 Fe, Ni 원소의 면밀도(단위면적당 원자의 개수) t_z 는 각각 4.24×10^{16} atom/cm², 1.36×10^{17} atom/cm²이다. 앞의 면밀도 값에 각각의 체적밀도를 나누어 주면 그 양에 해당하는 두께를 계산할 수 있다. 앞에서 구한 t_z 와 $N_x(Z)$ 및 입사 이온의 양(Q)으로부터 $Y_{eff}(Fe)$ 와 $Y_{eff}(Ni)$ 를 구할 수 있다. 즉 그림 3에서 각 원소

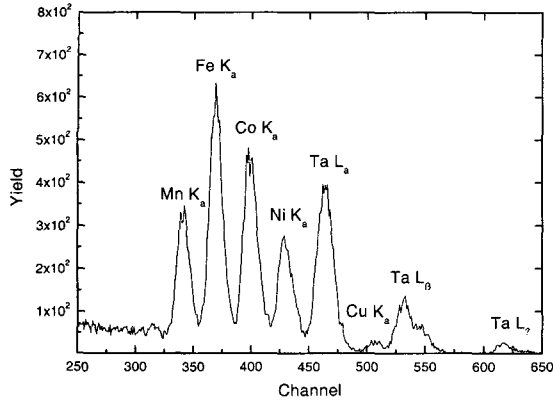


Fig. 5. PIXE spectrum for the synthetic spin valve thin film.

에 해당하는 특성 X선 면적에 후방산란의 분석결과로 얻어진 양(I_s)과 입사 이온의 양(Q)을 나누어 주면 된다. 이때 얻어진 값이 $Y_{eff}(Fe)$ 는 $1.47 \times 10^{-13} (\mu C^{-1}(atom/cm^2)^{-1})$, $Y_{eff}(Ni)$ 는 $1.25 \times 10^{-13} (\mu C^{-1}(atom/cm^2)^{-1})$ 이었다.

앞에서 구한 $Y_{eff}(Fe)$ 의 타당성을 확인하기 위해 질량 차이가 커 후방산란 스펙트럼에서 서로의 신호가 분리되어 절대정량이 가능한 FePt 박막에 대하여 $Y_{eff}(Fe)$ 를 동일한 방법으로 구해보았다. 이렇게 구한 $Y_{eff}(Fe)$ 는 $1.46 \times 10^{-13} (\mu C^{-1}(atom/cm^3)^{-1})$ 으로 FeNi 박막으로부터 구한 값과 FePt 박막에서 얻은 값이 거의 일치하였다. 이는 앞서 FeNi 박막 후방산란 분석 시 Fe:Ni의 조성비를 1:3으로 제한함이 타당함을 의미한다. MnFe, FeCo 박막에 대해서도 동일한 과정으로 분석을 시행하여 $Y_{eff}(Co)$, $Y_{eff}(Mn)$ 를 구할 수 있었고, 각 박막의 조성비가 각각 1:1, 1:8임을 알 수 있었다.

그림 5와 그림 6은 각각 이번 분석을 위해 제작된 synthetic spin valve 박막의 양성자 여기 X선 스펙트럼과 grazing-exit 후방산란 스펙트럼이다. 이때 산란각, 입사입자의 에너지 및 양 Q 등과 같은 분석조건은 표준화 과정 시와 동일하도록 하였다. 여기서 그림 6을 보면 크게 첫 번째 층 Tantalum 박막의 신호, 아홉번째 층 Tantalum의 신호, 네번째 층 Ruthenium의 신호 그리고 나머지 층들의 신호로 구별된다. 앞에서 언급한 질량분해능 때문에 Mn, Fe, Co, Ni, Cu 등의 신호는 중첩됨을 알 수 있다. 이에 비해 Tantalum의 신호, Ruthenium의 신호들은 서로 분리가 되어 있어 후방산란 결과만으로도 절대정량화가 가능하다.

최근 보고에 의하면 Ruthenium의 1 Å 정도의 두께 차이가 다층자성박막의 자기 저항비에 영향을 미치게 된다 [10]. Grazing-exit 후방산란 결과 독립적으로 분리된

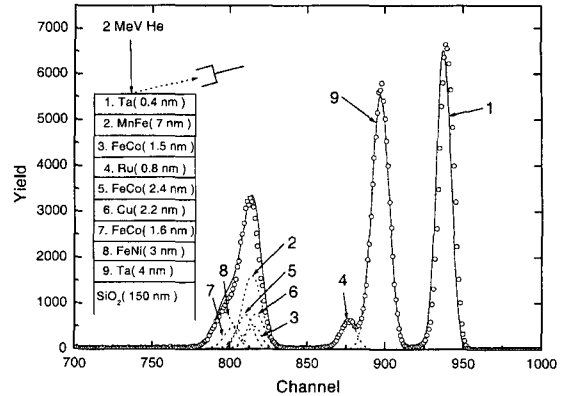


Fig. 6. Grazing-exit backscattering spectrum for the synthetic spin valve thin film.

Ruthenium의 신호는 실제 결과 fitting 시 1 Å의 변화에도 그 차이가 보이므로 Å 단위의 정확도로 측정이 가능하였다.

각 신호가 독립적으로 존재하지 않고 중첩되어 있어 grazing-exit 후방산란만으로는 분석이 곤란한 Mn, Fe, Co, Ni, Cu으로 구성되어 있는 층들의 신호를 분석하기 위해 우선 그림 5에서 Ni과 Mn 신호의 면적을 구하였다. 이 Ni, Mn 면적비와 표준화를 통하여 구한 $Y_{eff}(Ni)$, $Y_{eff}(Co)$ 을 이용하여 박막 내의 전체 Mn, Ni양을 구하였다. Mn과 Ni은 각각 두 번째 MnFe층과 여덟 번째 FeNi층에서만 존재하고 있고, 동일한 방법으로 제작한 MnFe, FeNi 표준시료의 조성비와 앞에서 구한 전체 Mn, Ni양으로부터 두 번째, 여덟 번째 층의 면밀도를 구할 수 있었다. 이 면밀도로부터 환산한 두께가 각각 7 nm와 3 nm임을 알 수 있었다. 세 번째, 다섯 번째 일곱 번째 FeCo 층들의 각각의 두께는 전체 Co 양을 구한 후 grazing-exit 후방산란 스펙트럼 simulation을 통하여 구하였다. 이 때 각각의 층의 두께가 1.5 nm, 2.4 nm, 1.6 nm일 때 최적의 fitting 결과를 얻을 수 있었다. 최종적으로 계산된 각 층의 두께 및 조성비 Ta(4 nm)/MnFe(7 nm)/FeCo₈(1.5 nm)/Ru(0.8 nm)/FeCo₈(2.4 nm)/Cu(2.2 nm)/FeCo₈(1.6 nm)/FeNi₃(3 nm)/Ta(4 nm)/SiO₂(150 nm)/Si이었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 이 조건으로 수행한 simulation fitting (실선)과 실제 측정("o")이 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다.

IV. 결 론

후방산란법은 절대정량이 가능하며 비파괴 분석법이라는 장점을 지니고 있으나, 원자번호가 20번 이상인 주기

율표상의 인접원으로 이루어진 자성박막을 분석하는데 있어서 신호의 중첩현상으로 인해 분석이 불가능하였다. 본 연구에서는 element-specific 한 분석기술인 양성자 여기 X선 검출법과, 절대 정량이 가능하고 깊이분해능을 현저히 향상시킨 grazing-exit 후방산란법을 동시에 사용하여 상호 보완적인 분석을 함으로써 스핀밸브에 대한 성분 및 두께에 대한 정량분석을 하였다. 이러한 분석법은 질량이 비슷한 다원소, 다층박막으로 이루어진 경우에 적용이 가능함을 보였으며, 향후 자성박막의 조성 및 두께 분석에 많은 활용이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 김효배, 송종한, 김희중, 한국자기학회지 6(2), 122(1996).
 [2] C. N. Whang and J. H. Song, J. of Kor. Instit. Surf. Eng. 23(1), 52(1990).
 [3] C. N. Whang and J. H. Song, J. of Kor. Instit. Surf. Eng. 23(2), 39(1990).
 [4] W. K. Chu, J. W. Mayer, M. A. Nicolet, Backscattering Spectrometry, Academic Press, London (1978).
 [5] S.A.E. Johansson, J.L.Campbell, K.G.Malmqvist, Particle induced X-ray Emission Spectrometry (PIXE), John Wiley & Sons, NewYork (1995).
 [6] J. S. Williams, Nucl. Instrum. Methods 126, 205(1975).
 [7] C. R. Brundle, C. A. Evans, S. Wilson, Encyclopedidia of materials characterization chap 6.3., Materials characterization series.
 [8] EG&G ORTEC, eds., Modular Pulse-Processing Electronics and Semiconductor Radiation Detectors, 1997.
 [9] L. R. Doolittle, Nucl. Instr. And Meth. B 15, 227(1986).
 [10] 장성호, 강탁, 김민정, 김희중, 김광윤, J. of Kor. Mag. Soc., 10(5), 196(2000)
 [11] M. H. Tabacniks, A. J. Kellock and J. E. E. Baglin 563, Proceedings of the fourteenth international conference (1996).
 [12] Leonard C. Feldman and James W. Mayer, "Fundamentals of surface and thin film analysis," Prentice Hall (1998).

Analysis of Magnetic Multi-layers by RBS and PIXE

T. G. Kim, G. Y. Jeon and C. N. Whang

Atomic-scale Surface Science Research Center & IPAP, Yonsei University,
134, Shinchodong, Sudaemoongu, Seoul, Korea

Y. H. Shin, Y. M. Kim and J. H. Song

Advanced Analysis Center, Korea Institute of Science and Technology,
39-1, Hawolgok-dong, Seungbuk-gu, Seoul 136-791, Korea

S. H. Jang and K. Y. Kim

Nano-device research center, Korea Institute of Science and Technology,
39-1, Hawolgok-dong, Seungbuk-gu, Seoul 136-791, Korea

(Received 6 November 2001, in final form 10 December 2001)

A spin valve structure of Ta/NiFe/CoFe/Cu/CoFe/Ru/CoFe/FeMn/Ta which has a synthetic antiferromagnet (CoFe/Ru/CoFe), was fabricated by using a magnetron sputtering system. The thickness and composition of magnetic free and pinned layers affect the magnetic properties such as exchange interaction strength of each layer and so on. Even though Rutherford Backscattering Spectrometry (RBS) has advantages of quantitative and non-destructive analysis, it is almost impossible to determine the thickness and composition of magnetic thin films using RBS because of its poor mass resolution for a higher atom number ($Z > 20$). In this study, quantitative analysis of the element composition and thickness for the spin valve sample was performed by combining both Proton Induced X-ray Emission Spectrometry (PIXE), which is one of element specific analysis techniques, and grazing-exit RBS with a highly improved depth resolution and absolute quantitative analysis. For the quantitative analysis, standardization of PIXE was carried out with NiFe, CoFe, and FeMn layers, which are one of constituent layers of spin valve films. Through PIXE standardization and the aid of PIXE experimental results of the spin valve sample, the overlapped signal in a grazing-exit RBS spectrum were successfully resolved and the thickness of the Ru layer was determined with a resolution of $\sim 1 \text{ \AA}$.

Key words : Grazing-exit Rutherford back-scattering spectrometry (RBS), Proton induced X-ray emission (PIXE), spin valve, magnetic free layers, magnetic pinned layers