

## 나노 옥사이드 층을 가진 스펙큘라 스피밸브의 자기저항 특성 및 교환바이어스의 열처리 온도 의존성

장성호\* · 강 탁

서울대학교 재료공학부  
서울시 관악구 신림동 산 56-1, 151-742

김희중 · 김광윤

한국과학기술연구원 나노소자연구센터  
서울시 성북구 하월곡동 39-1, 136-791

(2002년 4월 22일 받음, 2002년 6월 3일 최종수정본 받음)

나노옥사이드(nano-oxide layer, NOL) 층이 고정층에 첨가된 스펙큘라 스피밸브(specular spin valve)와 NOL이 없는 기본 스피밸브를 UHV 스퍼터 시스템에서 FeMn 반강자성층을 사용하여 탑 및 바텀 형 스피밸브를 제조하였으며, 제조한 시료의 열처리 온도에 따른 자기저항 특성 및 교환바이어스 특성을 비교 분석하였다. 탑 형 스피밸브에서는 NOL이 있는 경우 250 °C 열처리에서 9.2%의 자기저항비를 얻을 수 있었으며, 바텀 형 스피밸브에서는 250 °C 열처리에서 10.1%의 자기저항비를 얻을 수 있었다. 따라서 바텀 형 스피밸브가 탑 형 스피밸브보다 고정층에 첨가된 NOL의 스펙큘라 반사 효과가 높아 자기저항비가 증가함을 확인하였다. 또한 바텀 형 스피밸브에서 250 °C 이상의 열처리시 NOL이 있는 경우가 NOL이 없는 경우보다 28% 이상의 교환바이어스 증가를 보였다. 이와 같은 원인은 NOL이 첨가된 고정층의 자기모멘트의 감소와 X-선 회절 분석 결과로부터 NOL의 첨가에 따른 강화된 (111) FeMn 집합조직 때문이라고 판단된다.

**주제어** : 스피밸브, 나노옥사이드 층, 교환바이어스

### I. 서 론

100 Gbit/in<sup>2</sup> 이상의 자기기록밀도를 달성하기 위해서는 재생헤드로 사용되고 있는 스피밸브의 자기저항비가 10% 이상을 가지면서 열적 특성이 우수해야 한다. 현재까지 연구되어진 스피밸브 구조 중 NiO[1-3],  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>[4] 등의 산화물 반강자성 층을 사용한 스피밸브의 경우 기본 스피밸브 구조를 사용하고도 이미 20% 이상의 자기저항비를 달성하였다. 이러한 높은 자기저항비는 절연층인 산화물 반강자성층과 금속 자성층 계면에서 일어나는 전자의 스펙큘라 반사(specular reflection)로부터 기인한다고 보고하고 있다[2]. 그러나 산화물 반강자성층을 사용한 스피밸브의 경우 매우 낮은 교환바이어스(exchange biasing) 효과와 낮은 블로킹 온도(blocking temperature) 때문에 실용적이지 못하다는 단점을 가지고 있다. 한편, 초기 스피밸브 구조에서부터 계속 연구되어온 Mn 계열(FeMn, IrMn, PtMn, etc)의 금속 반강자성층을 사용한 스피밸브의 경우 산화물 반강자성층을 사용하는 스피밸브보다 자기저항비가 낮은 값을 보이지만, 250 °C 이상의 블로킹 온도와 더 강한 교환바이어스 값을 나타내고 있어서 열적 안정성이 더 우수한 장점을 가지고 있다.

따라서 우수한 열적 안정성과 높은 자기저항비를 달성할 수 있는 스피밸브 구조에 대한 새로운 기술적 제안들이 진행되었으며, 1999년 도시바 그룹에 의해 더욱 응용적 가치가 있는 나노옥사이드(nano-oxide layer, NOL)를 가진 스펙큘라 스피밸브 구조가 제시되었다[5]. 여기서 제안된 스피밸브 구조는 블로킹 온도가 270 °C인 IrMn를 사용하였으며, 그 자기저항비가 기본 스피밸브보다 2배 이상의 자기저항비 16% 및 교환바이어스 자체값 400 Oe를 보고하였다[5]. 스펙큘라 스피밸브 구조는 기판/반강자성층/자성층(고정층1)/NOL1/자성층(고정층2)/Cu/자성층(자유층)/NOL2로 이루어져 있는데, 이때 NOL1과 NOL2는 고정층1과 자유층을 구성하는 CoFe를 산화시켜서 이루어진다. 따라서 NOL1/고정층2 계면 및 자유층/NOL2 계면에서 전자의 스펙큘라 산란이 일어나므로 전반사 전자 묶음(electron bouncing)에 의해 GMR 효과가 증대되어 자기저항비가 증가하게 된다. 이 때, NOL을 가진 스피밸브의 우수한 자기저항 특성을 위해서 NOL1은 고정층1과 고정층2 사이의 강한 강자성 상호 교환 결합(ferromagnetic exchange coupling)을 유지시키면서 전자의 스펙큘라 산란에 기여하는 매우 매끄러운 NOL/자성층 계면을 갖는 초극박 개방 구조(ultra smooth and thin open structure)를 가져야 한다[6,7]. 또한 NOL2는 자유층의 연자성 특성 즉 낮은 보자력을 유지하도록 해야 하므로 자유층의 직접적인 산화보다는 비자성층

\*Tel: (02)958-5417, E-mail: agizagi@kist.re.kr

의 산화가 더 유리하다고 보고되었다[6]. 따라서 NOL 제조 조건이 매우 까다롭고, 또한 스핀밸브 특성을 좌우하므로, 현재 스펙큘라 반사 특성이 우수한 NOL을 형성하기 위해 대기 산화, 자연 산화, 또는 플라즈마 산화 등에 대한 연구가 활발히 진행 중이다[6, 8, 9].

본 연구는 현재 100 Gbit/in<sup>2</sup> 기록 밀도에 대응하는 재생 헤드에 사용하기 위한 NOL을 가진 스펙큘라 스핀밸브에서 고정층 안에 첨가된 NOL만을 가진 스핀밸브를 제조하여 증착 후 열처리 조건에 따른 자기저항 특성 및 교환바이어스 특성을 체계적으로 조사하였다.

### II. 실험방법

본 실험에서는 기본 압력이  $6 \times 10^{-9} \sim 2 \times 10^{-8}$  Torr의 초고진공 직류 스퍼터 증착 시스템을 사용하여 20~50 W의 증착 전력과 증착시 1~7 mTorr의 Ar 압력으로 스핀밸브 다층박막을 제조하였다. 스핀밸브는 Si/SiO<sub>2</sub>(1500 Å) 기판 위에 Ta(50)/NiFe(45)/CoFe(15)/Cu(26)/CoFe(20)/NOL/CoFe(20)/FeMn(80)/Ta(50) (단위는 Å이다)의 반강자성층이 맨 위에 있는 탑(Top) 방식의 구조와 Ta(50)/NiFe(20)/FeMn(80)/CoFe(20)/NOL/CoFe(20)/Cu(26)/CoFe(15)/NiFe(45)/Ta(50) (단위는 Å이다)의 반강자성층이 맨 아래에 있는 바텀(bottom) 방식의 구조를 가지며, NOL이 고정층 안에만 첨가된 구조를 가지고 있다. 여기서 NOL은  $5 \times 10^{-7}$  Torr 이하의 기본 진공도를 유지하는 로드락 챔버로 시편을 이동시켜 in-situ로 바로 아랫 층 CoFe를 순수한 산소 가스 분압에서 산화시킨 후 다시 증착 챔버로 이동하여 나머지 층들을 증착하였다. 또한 증착된 시편은 150~250 °C의 온도 범위에서  $5 \times 10^{-6}$  Torr의 진공 중에서 1 kOe의 자기장 열처리를 30분간 한 후, 상온으로 냉각하였다. 시편의 자화 곡선 및 자기저항 곡선은 각각 진동 시편 자력계(vibrating sample magnetometer) 및 직류 4단침범(d.c. four point probe)을 사용하였다. X-선 회절 분석은 구리 타겟을 사용하여  $\theta$ -2 $\theta$  모드로 하여 50 kV, 100 mA로 20도에서 60도 사이를 분당 2도 간격으로 측정하였다.

### III. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 탑 방식 구조인 스핀밸브에서의 NOL이 있는 경우와 NOL이 없는 경우 대표적인 자기저항 곡선을 나타내고 있다. 또한 Fig. 1의 삽입 그림은 열처리 온도에 따른 자기저항비( $\Delta R/R_{min}$ ) 변화를 보여주고 있다. NOL이 있는 경우와 없는 경우 모두 자기저항 곡선 형태에 큰 차이점을 찾을 수 없었다. 한편, 열적 특성에 있어서 NOL이 없는 기본 스핀밸브의 경우 열처리 온도에 따라 자기저항비가 서서히 증

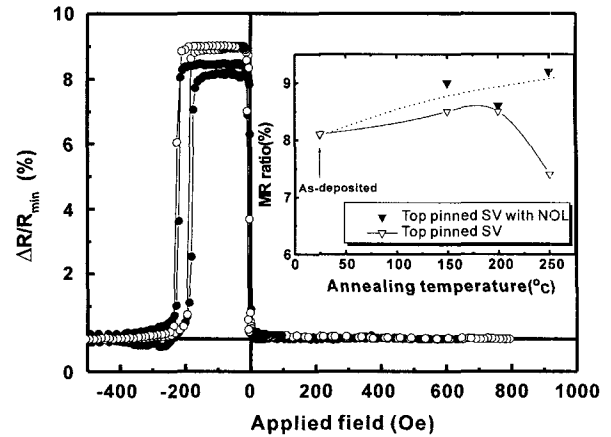


Fig. 1. The MR curves of the annealed spin valves(SV) with top pinned structure; open circle: SV with NOL annealed at 250 °C, solid circle : SV without NOL annealed at 200 °C. Inset shows the variation of MR ratio with annealing in each SVs with NOL (Ta(50)/NiFe(45)/CoFe(15)/Cu(26)/CoFe(20)/NOL/CoFe(20)/FeMn(80)/Ta(50), unit Å) and without NOL (Ta(50)/NiFe(45)/CoFe(15)/Cu(26)/CoFe(40)/FeMn(80)/Ta(50), unit Å).

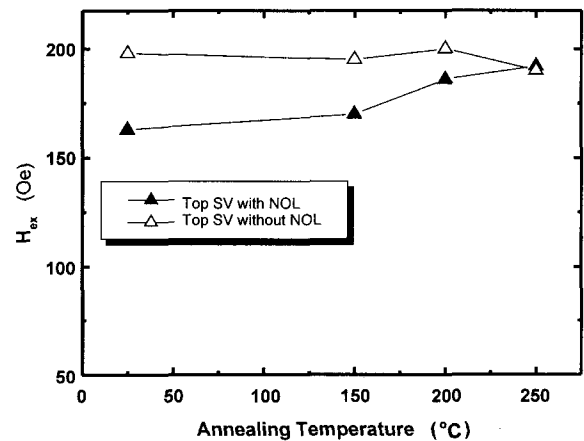


Fig. 2. Exchange bias field with annealing temperature in top pinned SVs; solid triangle: SV with NOL(Ta(50)/NiFe(45)/CoFe(15)/Cu(26)/CoFe(20)/NOL/CoFe(20)/FeMn(80)/Ta(50), unit Å), open triangle: SV without NOL(Ta(50)/NiFe(45)/CoFe(15)/Cu(26)/CoFe(40)/FeMn(80)/Ta(50), unit Å).

가하여 200 °C 열처리시 최대 8.5 %의 자기 저항비가 얻어졌으며, 250 °C 이상에서는 7.5 % 이하의 값으로 오히려 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 NOL이 있는 스핀밸브의 경우 250 °C까지 자기저항비가 계속 증가하였다. 따라서 NOL이 있는 스핀밸브의 경우가 보다 더 열적 특성이 우수함을 알 수 있었다. Fig. 2는 Fig. 1의 탑 방식 스핀밸브에서 열처리 온도에 따른 교환바이어스 값을 나타낸 것이다. NOL이 없는 기본 스핀밸브의 경우 교환 바이어스 자기장 값이 열처리 온도와 상관없이 거의 일정한 값을 유지하고 있으며, NOL이 있는 스핀밸브의 경우 열처리 전 낮은 교환바이어스

값을 보이거나 200 °C 이상 열처리시 150 Oe에서 190 Oe로 NOL이 없는 스핀밸브와 비슷한 교환바이어스 값을 나타내고 있다. NOL을 가진 탑형 스핀밸브의 열처리 전 낮은 교환바이어스는 증착시 NOL 형성을 위해 CoFe 층의 산화 후 나머지 층들의 성장시 반강자성층 FeMn (111) 집합조직의 저하가 일어나기 때문이다. 그러나 열처리 이후 교환바이어스 값이 NOL이 없는 경우의 교환바이어스와 비슷한 값을 갖는 이유는 열처리를 통해 내부 응력 및 결함을 감소시키므로 (111) 집합조직이 강화되기 때문이라고 생각된다.

Fig. 2는 바텀 방식 구조인 스핀밸브에서의 NOL이 있는 경우와 NOL이 없는 경우 대표적인 자기저항 곡선을 나타내고 있다. 또한 Fig. 2의 삽입 그림은 열처리 온도에 따른 자기저항비 변화를 나타내고 있다. 바텀 방식 구조의 경우 열처리 전 증착 상태에서는 Fig. 2에서 보는 것처럼 6.5~7 %의 낮은 자기저항비와 70 Oe 보다 작은 교환바이어스 자기장 값을 얻을 수 있었다. 한편, 열처리시 NOL이 없는 경우는 150 °C에서 250 °C까지 자기저항비가 8 %까지 증가하였다. NOL이 있는 경우는 자기저항비의 증가가 더 급격히 변화하여 200 °C 이상에서 250 °C까지 10.1 %의 증가와 300 Oe에 가까운 높은 교환바이어스 자기장 값을 볼 수 있었다. 따라서 250 °C 열처리시 기본 스핀밸브 8 %의 자기저항비에 대비하여 NOL이 있는 스핀밸브의 경우 10.1 %의 자기저항비로 NOL의 스펙큘라 반사에 의한 저항저항 증가로 사료되는 GMR 효과의 증대를 얻을 수 있었다.

이러한 결과를 톱 방식 스핀밸브의 결과와 비교해 볼때, 바텀 방식의 경우가 더 NOL에 의한 자기저항비의 증가가 더 효과적임을 확인할 수 있었다. 이러한 원인은 스펙큘라 반사가 일어나는 NOL과 CoFe 계면의 특성 차이로 사료되며, 바텀 방식의 NOL/CoFe 계면이 열처리 후 더 매끄러운 계면을 형성하여 정량적으로 Fuchs-Sondheimer 이론[10, 11]에 근거한 NOL/CoFe 계면의 자유전자에 대한 스펙큘라 반사 계수 (specular reflection coefficient) 값이 1에 더 근접하다고 판단되나, 이론적 접근에 의한 비교가 필요하다고 생각된다.

300 °C 까지의 열처리에 따른 교환바이어스 값을 조사하였으며, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보는 바처럼 NOL이 없는 스핀밸브에서 150 °C의 낮은 온도에서 열처리시 교환바이어스 값이 급격하게 증가하나, 200 °C 이상 300 °C 사이에서 약 220 Oe의 값을 유지하고 있다. 따라서 이 열처리 온도 범위에서는 교환바이어스를 좌우하는 CoFe/FeMn의 계면 및 미세조직의 변화가 온도에 따라 크게 민감하지 않다고 생각할 수 있다. 한편, NOL이 있는 스핀밸브에서도 낮은 열처리 온도에서는 급격한 교환바이어스 값의 증가를 볼 수 있으며, 200 °C 이상 300 °C 사이에서는 온도 증가에 따라 교환바이어스 값이 220 Oe에서 280 Oe로 계속 증가하는 경

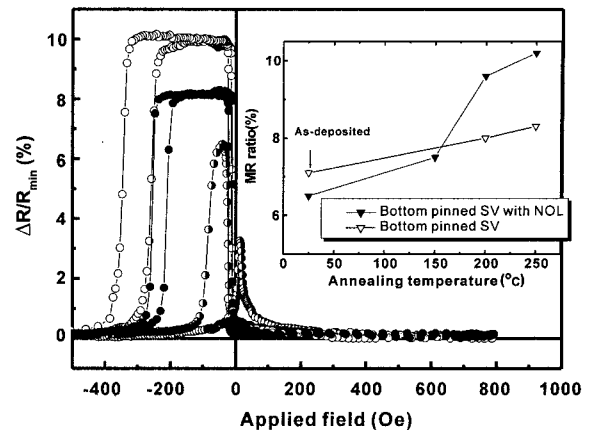


Fig. 3. The MR curves of annealed SVs with bottom pinned structure; semi-solid circle: as-deposited SV with NOL(Ta(50)/NiFe(20)/FeMn(80)/CoFe(20)/NOL/CoFe(20)/Cu(26)/CoFe(15)/NiFe(45)/Ta(50), unit Å), open circle: SV with NOL annealed at 250 °C, solid circle : SV without NOL(Ta(50)/NiFe(20)/FeMn(80)/CoFe(40)/Cu(26)/CoFe(15)/NiFe(45)/Ta(50), unit Å) annealed at 250 °C. Inset shows the variation of MR ratio with the annealing temperature in each SVs with NOL and without NOL.

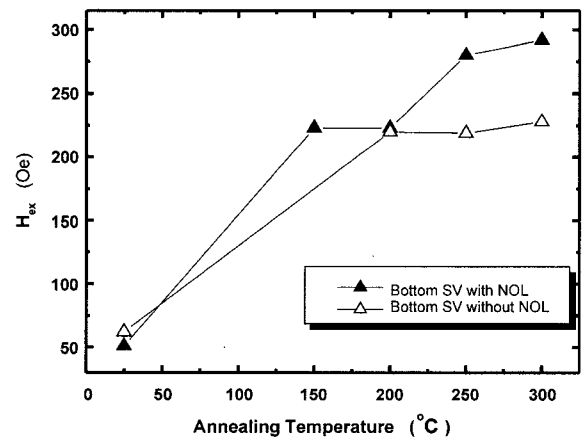


Fig. 4. Exchange bias field with annealing temperature in bottom pinned SVs; solid triangle: SV with NOL(Ta(50)/NiFe(20)/FeMn(80)/CoFe(20)/NOL/CoFe(20)/Cu(26)/CoFe(15)/NiFe(45)/Ta(50), unit Å), open triangle: SV without NOL((Ta(50)/NiFe(20)/FeMn(80)/CoFe(40)/Cu(26)/CoFe(15)/NiFe(45)/Ta(50), unit Å).

향으로서 기본 스핀밸브와는 다른 경향을 보이고 있다. 이와 같은 결과로부터 250 °C 이상의 열처리시 NOL을 가진 스핀밸브의 교환바이어스 값이 기본 스핀밸브보다 더 큼을 알 수 있다. 이것은 이미 보고된 IrMn을 기초한 NOL 스핀밸브에서 교환바이어스 값이 감소한다는 결과와 서로 배치되는 것이다[8]. 본 결과의 이러한 증가의 원인은 NOL이 첨가된 고정층 CoFe(CoFe/NOL/CoFe) 층의 자기모멘트 값이 NOL이 없는 CoFe의 자기모멘트 값보다 작기 때문으로 판단된다. 즉, 스핀밸브의 VSM에 의한 자화곡선으로부터 NOL이 있는 스

핀밸브의 포화 자화 값( $M_s$ )이 NOL이 없는 스핀밸브의 포화 자화 값보다 작으므로, 자기모멘트를 가진 고정층의 유효 두께( $t_{eff}$ )로 환산시, NOL이 없는 기본 스핀밸브의 고정층의 두께가 40 Å일 때 NOL이 있는 스핀밸브의 고정층 두께가 36~37 Å이었다. 따라서 교환바이어스의 자계와 고정층 두께와 관련 식  $H_{ex} = J_{ex}/(M_s t_{eff})$ (즉 교환바이어스는 유효 두께에 반비례함)[12]으로부터 CoFe 자성층의 유효두께가 작아 NOL이 첨가된 고정층을 가진 스핀밸브의 교환 바이어스 값이 NOL이 없는 스핀밸브의 교환바이어스 값보다 더 크게 된다. 그러나, 이러한 유효 두께의 변화 측면에서 계산해 보면 7.5~10%의 교환바이어스 값의 증가만이 예상된다. 한편 250 °C 열처리시 실제 교환바이어스 값의 증가분은 28 % 정도로 예상 증가분보다 더 크므로, NOL이 있는 스핀밸브에서 열처리 온도 증가에 따른 교환바이어스 증가 경향이 유효 두께의 감소에 의해서만 설명될 수는 없다. 그러므로 NOL을 가진 스핀밸브에서 교환바이어스의 증가 원인은 계면 및 미세구조의 변화 관점에서 조사해 볼 필요가 있다고 판단된다. 이러한 관점에서 X-선 회절 분석을 실시하였으며, Fig. 5(a), (b)는 250 °C에서 열처리된 NOL이 있는 스핀밸브와 NOL이 없는 스핀밸브의 주요한 회절 패턴을 나타낸 것이다. NOL이 있는 스핀밸브는 Fig. 5(a)에서 볼 수 있는 바와 같이  $\gamma$ -FeMn(111) 면만이 주 피크로 나타나 있으며, 다른 피크들은 로렌치안 곡선 피팅(Lorentzian curve fitting) 시에도 무시할 수 있을 만큼 존재하지 않았다. 반면, NOL이 없는 스핀밸브에서는 Fig. 5(b)에서처럼  $\gamma$ -FeMn (111) 주 피크 이 외에도 열역학적으로  $\gamma$ -FeMn 상보다 더 안정한 상인  $2\theta = 42.9^\circ$  근처의  $\gamma$ -FeMn 상이 존재하면서  $2\theta = 45^\circ$  근처의 피크들로서  $\alpha$ -CoFe( $44.828^\circ$ ) 상이 존재함을 확인할 수 있었다. 본 X-선 회절에서 사용한 파워가 5 kW의 매우 높은 에너지를 사용하였으므로, 다른 상들에 대한 검출 빈도를 증가시켰다. 따라서 좀 더 자세하게 시료 내부의 상태를 분석하기에 용이하였으며, 색인 상에서  $\alpha$ -FeMn(330)[14]과  $\alpha$ -CoFe(110)을 할당할 수 있었다.  $\alpha$ -CoFe는 시료 자체에 대한 RBS 분석 결과[13]로부터 Co:Fe = 89:11로 상평행도(phase diagram) 상에서  $\gamma$ -CoFe 이외에도  $\alpha$ -CoFe 상이 존재할 수 있었다.

결국 NOL이 없는 스핀밸브의 경우는 열처리 후 열역학적으로 안정한 상들이 형성되므로 FeMn/CoFe 계면에  $\alpha$ -FeMn,  $\alpha$ -CoFe, 등이 생성되어 (111) 반강자성층의 집합조직을 감소시키고, 교환바이어스를 감소시키는 죽은 영역(dead zone)이 형성되나, NOL이 있는 스핀밸브의 경우는 강화된  $\gamma$ -FeMn (111) 집합조직이 그대로 유지가 되고 있다. 따라서 X-선 회절 결과는 바텀 스핀 밸브의 경우 NOL이 고정층 안에 첨가됨으로써 (111)  $\gamma$ -FeMn 집합조직의 열적 안정화에 오히려 도움을 줄 수 있다고 사료된다. 또한 이와 같은 결과는 NOL

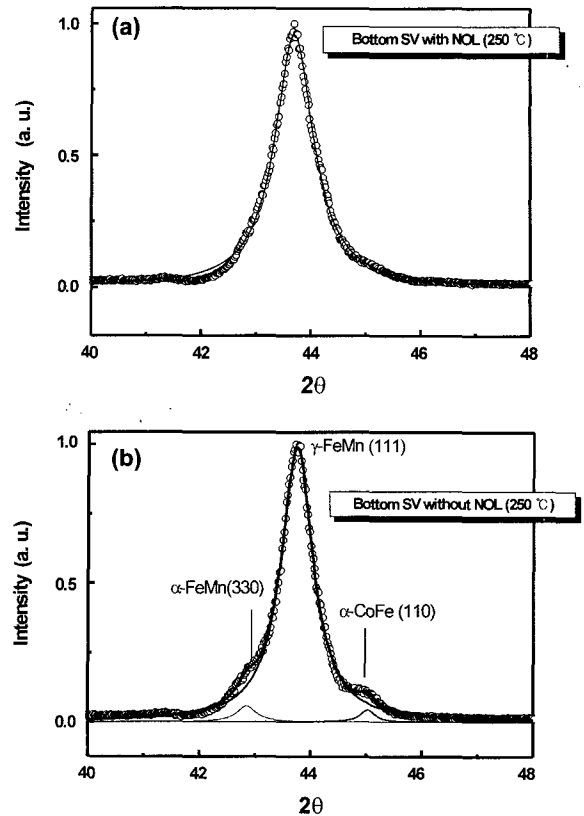


Fig. 5. (a) X-ray diffraction patterns of SVs with NOL; open circles : real data, solid line : Lorentzian fitted data, (b) X-ray diffraction patterns of SVs without NOL; open circles : real data, solid lines : Lorentzian fitted data.

이 있는 바텀 스핀밸브에서 200 °C 이상 온도에 따른 교환바이어스의 지속적인 증가를 설명하는 증거도 될 수 있다. 즉 온도 증가에 따라서  $\gamma$ -FeMn (111) 집합조직은 계속 유지가 되고, FeMn/CoFe 계면에 있던 결함이나 내부 응력이 사라져 그 교환바이어스 값이 300 °C 까지 계속 증가한 것으로 생각 된다. 이것은 주 피크 점  $2\theta$  값의 비교에서도 확인할 수 있는데,  $\gamma$ -FeMn 만이 존재하는 기준 시료의 (111) 면의  $2\theta$  값  $43.505^\circ$ [14]를 기준으로 할 때, Fig. 5(a), (b)에서 NOL이 있는 경우 피팅 결과  $43.697^\circ$ 이며, NOL이 없는 경우  $43.749^\circ$ 이다. 즉 NOL이 있는 경우의  $\gamma$ -FeMn의 면간 거리가  $\gamma$ -FeMn 만 있는 기준 시료에 더 가까우므로, NOL이 있는 경우 FeMn/CoFe 층들의 층간 에피택시 상태가 응력이 더 낮은 상태로 유지됨을 간접적으로 확인할 수 있었다.

따라서 250 °C 이상에서 NOL이 있는 경우의 커다란 교환바이어스의 증가는 NOL이 첨가됨으로써 생기는 고정층의 자기모멘트 감소 이외에도 NOL이 첨가될 경우 오히려 NOL층 아래에 있는 FeMn/CoFe 간의 격자 불일치의 해소 및 (111) 집합조직의 안정성을 증가시켜서 NOL이 없는 경우와는 다르

계, 온도 증가에 따른 미세 구조 상의 결합 및 응력의 감소가 발생하기 때문이라고 생각한다. 또한 (111) 집합조직의 안정성과 함께 결합 및 응력의 감소는 NOL/CoFe 계면의 거칠기를 감소시켜서 스펙큘라 반사와 관련된 매끄러운 NOL/CoFe 계면 형성을 유리하게 하여 자기저항비의 증가에도 기여하고 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 NOL이 고정층에 첨가된 스핀밸브와 NOL이 없는 기본 스핀밸브의 자기저항 특성을 비교하기 위해 UHV 스퍼터 시스템에서 FeMn 반강자성층을 사용한 탑 타입 및 바텀 타입의 스핀밸브를 제조하여 각각에 대해서 열처리 온도에 따른 자기저항 특성 및 교환바이어스 특성을 비교 분석하였다. 그 결과 아래와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 탑 스핀밸브에서 NOL이 있는 경우 250 °C 열처리까지 자기저항비가 9.2%로 서서히 증가하였으나, NOL이 없는 경우 200 °C 열처리에서 8.5%의 자기저항비로 증가 후 250 °C에서 7.5% 이하로 자기저항비가 감소하였다.

2) 바텀 스핀밸브에서 NOL이 있는 경우 자기저항비가 200 °C 이후 9% 이상으로 증가한 후 250 °C에서 10.1%의 높은 자기저항비를 얻을 수 있었다. 한편, NOL이 없는 경우 열처리에 따라 자기저항비가 증가하였으나 250 °C 열처리시 약 8.0%의 최대의 자기저항비를 얻을 수가 있었다. 따라서 NOL이 삽입된 바텀 스핀밸브의 경우에 250 °C 열처리시 NOL에 의한 스펙큘라 반사를 통한 GMR 효과의 증대를 얻을 수가 있었으며, 탑 스핀밸브의 경우 보다 더 NOL의 효과가 있음을 확인하였다.

3) 바텀 스핀밸브에서 열처리된 스핀밸브들의 교환바이어스 값이 NOL이 있는 스핀밸브의 경우가 NOL이 없는 경우보다 더 높았다. 이러한 이유는 먼저 NOL이 첨가됨으로써 생기는 고정층의 자기모멘트 감소로부터 약 7.5~10%의 교환바이어스의 증가를 예측할 수 있었다. 그러나 250 °C 이상의 열처리시 예측치보다 더 큰 28% 이상의 교환바이어스의 증가가 얻어졌으며, 이러한 결과는 X-선 회절 분석을 통해 NOL이 있

는 경우 NOL이 없는 경우보다 열처리 후 더 강하게 유지된 (111) FeMn 집합조직 때문인 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 한국과학기술부의 NRL 국가지정연구실 프로그램과 서울대학교 공대 교육연구재단의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] W. F. Egelhoff, Jr., T. Ha, R. D. K. Misra, Y. Kadmon, J. Nir, C. J. Powell, M. D. Stiles, R. D. McMichael, C.-L. Lin, J. M. Sivertsen, J. H. Judy, K. Takano, A. E. Berkowitz, T. C. Anthony and J. A. Brug, *J. Appl. Phys.* **78**, 273(1995).
- [2] H. J. M. Swagten, G.J. Strijkers, P. J. H. Bloemen, M. M. H. Wilekens, W. J. M. de Jonge, *Phys. Rev. B* **53** (1996).
- [3] S. Noguchi, R. Nakatani, K. Hoshino and Y. Sugita, *Jpn. J. Appl. Phys.* **33**, 133(1994).
- [4] H. Sakakima, Y. Sugita, M. Satomi, Y. Kawawake, *J. Magn. Magn. Mater* **198-199**, 9(1999).
- [5] Y. Kamiguchi, H. Yuasa, H. Fukuzawa, K. Kouji, H. Iwasaki and M. Sahashi, *Digest of INTERMAG'99*, DB-1(1999).
- [6] J. C. S. Kools, S.B. Sant, K. Rook, W. Xiong, Faiz Danmani, W. Ye, J. Nuez-Regueiro, Y. Kawana, M. Mao, K. Koi, H. Iwasaki, and M. Sahashi, *IEEE Trans. Magn.* **37**, 1783(2001).
- [7] M. F. Gillies, A. E. T. Kuiper, and G. W. R. Leibbrandt, *J. Appl. Phys.* **89**, 6922(2001).
- [8] J. A. Veloso, P. P. Freitas, P. Wei, N. P. Barradas, J. C. Soares, B. Almeida, and J. B. Sousa, *Appl. Phys. Lett.* **77**, 1020(2000).
- [9] S. Sant, M. Mao, J. Kools, K. Koi, H. Iwasaki, and M. Sahashi, *J. Appl. Phys.* **89**, 6931(2001).
- [10] K. Fuchs, *Proc. Cambridge Philos. Soc.* **34**, 100(1938).
- [11] E. H. Sondheimer, *Adv. Phys.* **1**, 1(1952).
- [12] J. Nogues, Ivan K. Schuller, *J. Magn. Magn. Mater.* **192**, 203 (1999).
- [13] 김태곤, 전기영, 황정남, 신윤하, 김영만, 송종한, 장성호, 김광윤, *한국자기학회지* **11**, 27(2001).
- [14] Cherngye Hwang, Roy H. Geiss, and J. Kent Howard, *J. Appl. Phys.* **64**, 6115(1988).

## **The Dependences of Magnetoresistance and Exchange Biasing on Annealing temperature in Top and Bottom Type Specular Spin Valves with Nano-oxide Layers**

**S. H. Jang\* and T. Kang**

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

**H. J. Kim and K. Y. Kim**

*Nanodevice Research Center, Korea Institute of Science and Technology  
39-1 Hawolgok-dong Seungbuk-gu, Seoul 136-791, Korea*

(Received 22 April 2002, in final form 3 June 200)

We investigated magnetoresistance(MR) and exchange bias properties by annealing in top and bottom type spin valves (SV) with nano-oxide layers (NOL). In top SVs with NOL, MR ratio of 9.2 % is obtained after postdeposition annealing at 250 °C. In bottom SVs with NOL, MR ratio of 10.1 % is obtained after postdeposition annealing at 250 °C. Therefore, specular reflection of the NOL in bottom SVs is higher than that of the NOL in top SVs. Exchange biasing of bottom SVs with NOL is 28 % higher than that of bottom SVs without NOL after annealing. This enhancement of exchange biasing is thought to be due to the reduced magnetic moment of the pinned layer with NOL and enhanced (111) FeMn texture.

**Key words :** Spin valve, Nano-oxide layer, Exchange bias