

기저층 및 열처리 효과가 Co/Cu 다층박막의 자기저항에 미치는 영향

김미양 · 최규리 · 최수정 · 송은영 · 이정로

숙명여자대학교 물리학과
서울특별시 용산구 청파동 2가, 140-742

황도근 · 이상석

상지대학교 물리학과
강원도 원주시 우산동 산 41, 220-130

박창만 · 이기암

단국대학교 물리학과
충남 천안시 안서동, 330-714

(1997년 4월 5일 받음, 1997년 4월 18일 최종수정본 받음)

DC magnetron sputtering 방법에 의해 Corning glass 위에 기저층인 Fe와 Cu의 두께를 다르게 하면서 buffer / [Co(17 Å) / Cu(t Å)]_N의 형태로 다층박막을 제작하여 자기저항비의 비자성층 Cu 층 두께, 기저층 종류와 두께, 다층박막의 층 수 의존성을 조사하였다. 제작된 시료를 500 °C 까지의 열처리를 행한 후 열처리가 이 시료의 구조, 자기적 성질 및 자기저항에 미치는 영향을 조사하기 위하여 X-선 회절분석, 시료진동형자기계(VSM) 분석, 자기저항 측정을 하였다. Fe 기저층의 두께가 50 Å이고 Cu 두께가 24 Å일때 극대 자기저항비 21%가 관찰되었다. 낮은 base 압력 중에서 막의 증착은 산화를 억제하여 자기저항비를 증가시켰다. 400 °C 까지의 시료에 대한 열처리는 다층박막의 주기성을 유지한채 더 큰 grain size를 갖게 하여 극대 자기저항비를 나타내는 Cu 두께를 갖는 시료들은 열처리 후 반강자성적으로 결합한 막의 부분이 증가함으로써 자기저항비가 증가하다가 500 °C에서는 계면의 확산에 의해 감소하였다.

I. 서 론

자성체/비자성체로 이루어진 다층박막에서 비자성층의 적절한 두께에서는 인접한 자성층간에 반강자성 결합을 하며 이때 자기저항이 크게 변하는 거대 자기저항 현상이 1988년 Baibich 등에 의해 분자선속 에피택시(Molecular Beam Epitaxy : MBE)법으로 제작된 Fe/Cr 다층박막에서 처음 발견되었다[1]. 그 이후 Parkin 등[2]과 Mosca 등[3]에 의해 스퍼터링법으로 제작된 Co/Cu 다층박막에서도 발견된 이후 Co/Cu 다층박막의 거대 자기저항 거동은 학문적 관심과 자기센서에의 응용의 관점에서 큰 관심을 불러 일으키고 있다. 특히, 스퍼터링 방법으로 제작한 Co/Cu 다층박막은 상온에서 커다란 자기저항(magnetoresistance : MR)이 나타나고 진동 교환결합(oscillatory exchange coupling)이 뚜렷하게 나타난다고 보고되어 있다[4]. 이러한 거대 자기저항 현상은 인접한 자성층에서 자기모멘트의 재배열과 관련하여 설명되며

벌크형 자성체내에서 또는 자성체/비자성체 계면에서의 스핀 의존 전자산란으로 설명되어 왔다[5]. 또한 진동 교환 결합의 원인은 비자성층의 두께에 따른 반강자성 결합이 RKKY(Ruderman-Kittel-Kasuya-Yosida) 식 상호작용에 의해 주기성을 가지기 때문이라고 알려져 있다[6]. 그러나 아직 거대 자기저항 효과에 영향을 미치는 결정적인 조건들은 명백히 밝혀져 있지 않아서 자기저항비에 대한 보고들이 일치하지 않는 원인이 되고 있다. 특히 기저층이 자기저항에 미치는 효과와 그 역할에 대한 분석은 그 문제 해결에 도움을 줄 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 dc magnetron sputtering 방법에 의해 유리 기판 위에 기저층 Fe와 Cu의 두께를 다르게 하면서 buffer / [Co(17 Å) / Cu(t Å)]_N의 형태로 제작된 다층박막에 대하여 자기저항비의 비자성층인 Cu 사이트층 두께, 기저층 종류와 두께, 다층박막의 층수(N)에 따른 의존성을 조사하였으며 500 °C 까지의 열처리를 행한 후 열처리가 시료의 구조, 자기적 성질 및 자기저항에 미치는

영향을 조사하여 거대 자기저항비의 크기를 결정하는 요인들을 규명하고자 하였다.

II. 실험 방법

다층박막을 제작하는 데 사용한 스퍼터링 장치는 3개의 서로 다른 타게트를 사용하여 동시에 플라즈마가 발생할 수 있도록 dc magnetron gun을 장착하였으며 3개의 gun에서 동시에 발생하는 플라즈마가 서로 간섭하는 것을 방지하기 위하여 분리막과 개구를 설치하여 내부를 각각의 영역으로 분할하였다. 기관 고정대는 스텝핑 모터에 의해 회전하게 되어 있으며 타게트와 기관 사이의 거리는 약 8 cm 정도를 유지하도록 하였다. 증착물은 소각 (small angle) X-선 회절에 의해 결정되는 층의 두께에 의해 교정하였다. 다층박막을 제작하기 위한 기관으로는 Corning glass를 사용하였다. 기관위의 불순물을 제거하기 위하여 증류수 속에서 초음파 세척한 후 Cleaning 용액 ($K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$)에 담갔다가 견져낸 후 이것을 알코올로 세척하여 불순물을 완전히 제거한 후 사용하였다. 기저층과 다층박막의 각 층은 초기 진공도 2×10^{-6} torr 이하에서 스퍼터링함으로써 증착하였으며 증착시의 인가전력은 경우에 따라 $0.5 \sim 6 \text{ \AA} / \text{s}$ 범위의 증착속도를 얻을 수 있도록 선택하였다. 이때 증착시간과 두께로부터 각 물질의 증착속도를 구하였다.

한편, 다층박막 제작시 비자성층인 Cu 두께를 달리 하면서 다층박막 glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(t Å)]₂₀ (t = 8~44 Å)을 제작하여 진동형 자기저항을 관찰하였으며, 기저층 종류와 두께에 따른 자기저항비의 변화를 살펴보기 위하여 Cu를 기저층으로한 다층박막 glass/Cu(t Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]₂₀ (t = 0~80 Å)을 제작하였고 Fe를 기저층으로한 다층박막 glass/Fe(t Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]₂₀ (t = 0~80 Å)을 제작하여 기저층 효과를 관찰하였다. 또한 다층박막의 층 수에 따른 자기저항비를 관찰하기 위하여 층 수를 달리하면서 다층박막 glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]_N (N = 1~60)을 제작하였다. 다층박막의 구조 분석은 Cu K α (파장 1.541 Å)를 이용한 X-선 회절분석기를 이용하여 X-선 회절 곡선을 구하였다. 이때 인가전력은 30 kV, 20 mA 이었다. Small angle ($2\theta = 2 \sim 10^\circ$) X-선 회절선으로부터 다층박막의 적층주기와 층상구조의 규칙도를 분석하였고, high angle ($2\theta = 20 \sim 70^\circ$) X-선 회절선으로부터 다층박막의 구조를 조사하였다. 다층박막 시료의 거대 자기저항 효과를 측정하기 위하여 전자석을 이용하여 측정시스템을 구성하였다. 전류와 저항을 동시에 측정할

수 있는 multimeter (HP 34401)를 써서 외부 자기장에 따른 자기저항 곡선을 얻기 위하여 상온에서 4단자법으로 $-1000 \sim 1000 \text{ Oe}$ 범위의 자기장을 인가하며 전기저항을 측정하였다. 이때 자기저항 측정용 시료는 얇은 놋쇠판 mask를 사용하여 patterning하였다. 본 연구에서는 자기저항비를 두 가지로 정의하였다. 첫째, 초기 자기저항 곡선에서부터 얻어지는 자기저항 변화율 즉, $MR_0 (\%) = \{ [R(H=0) - R(H_s)] / R(H_s) \} \times 100$ 으로 정의하였으며 이 때 $R(H=0)$ 는 zero 자기장에서의 저항값이며 $R(H_s)$ 는 포화자기장에서의 저항값이다. 둘째, 자기저항 곡선에서부터 얻어지는 $MRs (\%) = \{ [R(max) - R(min)] / R(min) \} \times 100$ 으로 정의하였다. $R(max)$ 은 최대 저항값이며 $R(min)$ 은 최소 저항값이다. 다층박막의 자기적 특성은 VSM을 사용하여 상온에서 5 kOe의 자기장을 수평방향으로 걸어주고 자화-자기장 이력곡선을 얻어 분석하였다.

열처리 효과를 조사하기 위하여 선택된 시료의 경우는 동일한 시료를 진공 챔버에 넣고 5×10^{-6} torr의 진공도를 유지한 상태에서 할로젠 램프를 이용해서 가열하여 $150 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 부터 $500 \text{ }^\circ\text{C}$ 까지의 온도범위에서 $50 \sim 100 \text{ }^\circ\text{C}$ 간격으로 온도를 높여가며 각 온도에서 2시간씩 열처리를 행하여 물성의 변화를 측정하였다. 각 시료에 대하여 낮은 온도에서 먼저 열처리하여 상온까지 서냉하여 X-선 회절분석, VSM 측정, 자기저항 측정 등을 행한 후 보다 높은 온도에서 다시 열처리하여 특성변화를 분석하는 방법을 취하여 열처리 온도에 따른 거동을 살펴보았다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 50 Å 두께의 Fe 기저층을 갖는 Co/Cu 다층박막에 대해서 비자성층인 Cu층 두께의 함수로서 자기저항비를 조사한 결과이다. 여기서 자기저항비는 Cu 두께 변화에 따라 진동하는 것을 알 수 있으며 이와 같은 진동 자기저항은 이웃한 강자성층인 Co 층간의 반강자성 결합과 강자성 결합이 주기적으로 이루어져 나타나는 결과로 이해할 수 있다. 이때 Cu의 두께가 24 Å일 때 극대 자기저항비는 상온에서 $MR_0 = 21 \%$ 를 나타내었다.

Fig. 2에는 층 수를 달리하면서 제작한 glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]_N에 대하여 자기저항비의 다층박막 층 수 의존성을 조사한 결과를 나타내었다. 여기에서 층 수가 1층에서 20층까지는 층 수가 증가함에 따라 다층박막 구조가 점차 개선되면서 자기저항비가 증가하는 경향을 보이다가 20층 이상이 되면 일정하게 되는 것을 알 수 있다. 이것은 이와 유사한

Plaskett 등의 연구 결과[7]와 잘 일치하는 것임을 보여 주고 있다.

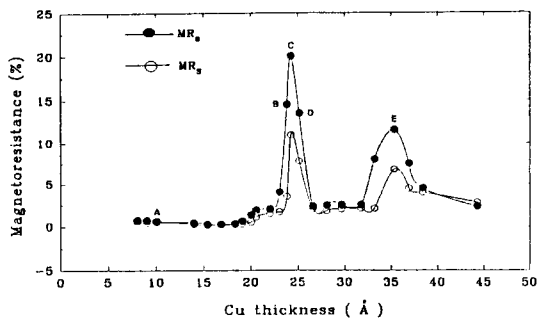


Fig. 1. Dependence of magnetoresistance ratio on Cu layer thickness in the glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(t Å)]₂₀ multilayer.

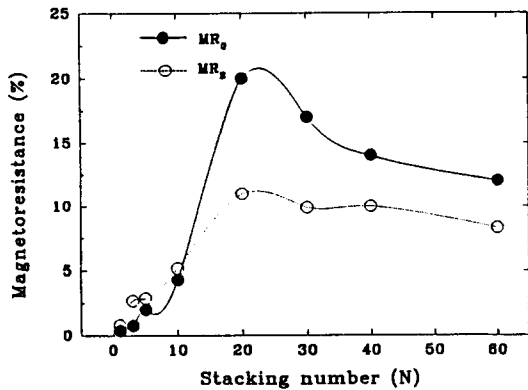


Fig. 2. Dependence of magnetoresistance ratio on the stacking number (N) of glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]_N multilayer.

Fig. 3에는 Co/Cu 다층박막의 자기저항비를 Fe 기저층 두께의 함수로서 나타내었다. Fe 기저층 두께가 증가함에 따라 50 Å까지는 자기저항비가 증가하다가 그 이상의 두께에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 Fe 기저층 두께가 50 Å 이하인 경우에는 버퍼 역할을 충분히 할 수 없고 50 Å보다 두꺼운 경우에는 Fe 층이 자성층이기 때문에 다층박막 구조의 자기저항 거동에 영향을 주어 자기저항비의 감소를 초래하는 것이라고 생각된다.

Fig. 4에는 기저층으로서 Cu를 증착하여 제작한 glass/Cu(t Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]₂₀ 다층박막의

자기저항비를 Cu 기저층 두께의 함수로 나타내었다. 여기서 Cu 기저층의 두께가 증가함에 따라 자기저항비는 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 열저항 가열식 진공 증착법으로 Cu를 Si(100) 기판 위에 증착하면 (100) 방향으로 의사 에피택시 성장하여 자기저항비가 증가할 수 있다는 보고[8]와는 달리 유리 기판 위에 기저층으로서 Cu가 입혀졌을 경우에는 버퍼로서의 역할을 하지 못하며 두껍게 Cu가 입혀질 경우에는 기저층의 전류새어흐름 효과(shunting effect)로 인하여 자기저항비를 감소시키는 것을 알 수 있다.

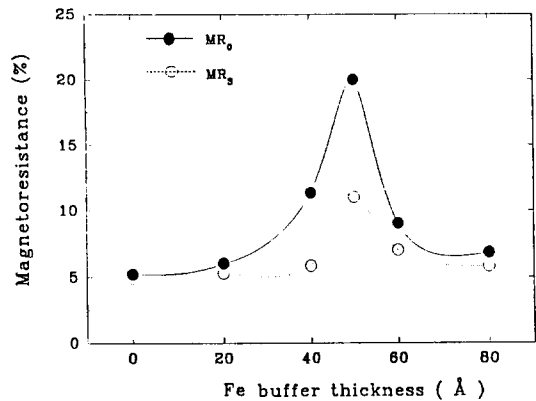


Fig. 3. Dependence of magnetoresistance ratio on Fe buffer layer thickness in glass/Fe(t Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]₂₀ multilayer.

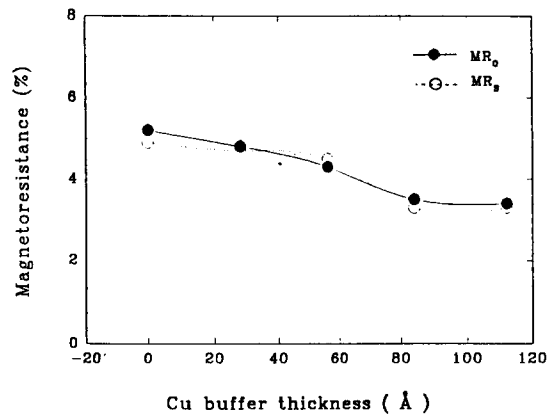


Fig. 4. Dependence of magnetoresistance ratio on the Cu buffer layer thickness in glass/Cu(t Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]₂₀ multilayer.

Fig. 5에는 Co/Cu 다층박막에 대하여 50 Å 두께의 Fe 기저층이 있는 경우와 없는 경우의 시료에 대한 자기저항비의 base pressure 의존성을 조사한 결과가 나타나 있다. Fe 기저층을 입혀 제작된 시료의 경우가 기저층이 없는 경우보다 높은 자기저항비를 나타내는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 Fe 기저층이 Co/Cu 다층박막의 산소함량을 감소시켜 자기저항비를 증가시키는 것으로 생각된다.

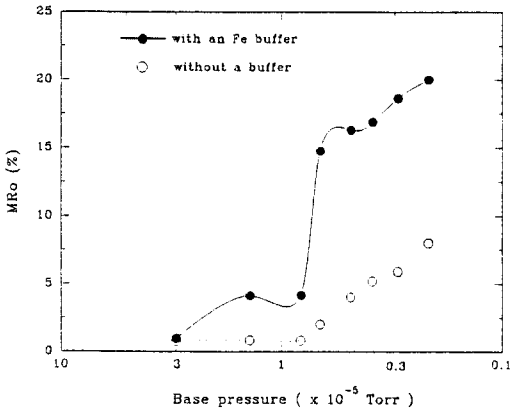


Fig. 5. Base pressure dependence of magnetoresistance ratio for [Co(17 Å)/Cu(24 Å)]₂₀ multilayers with and without an Fe buffer layer.

Fig. 6에는 glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]₂₀ 시료에 대한 상온 및 500 °C 이하의 온도에서 2 시간씩 열처리한 온도별 MRs 곡선이 나타나 있다. 여기서 열처리 온도가 증가함에 따라 자기저항비는

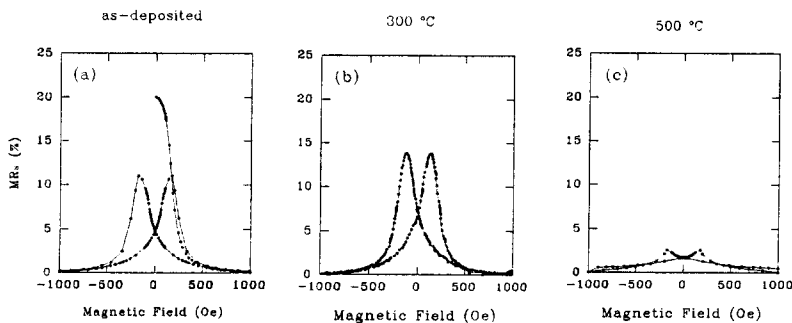


Fig. 6. Magnetoresistance curves of glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]₂₀ multilayer with annealing temperature of (a) as-deposited, (b) 300 °C and (c) 500 °C.

점점 증가하여 상온에서 11 %를 보이던 것이 300 °C에서 열처리한 경우에 극대값 14 %를 보였다. 400 °C에서 열처리한 경우에는 이보다 다소 감소하였으며 500 °C에서 2시간 동안 열처리한 경우에는 급격히 감소하여 MRs 값은 약 2.6 % 정도를 나타내었다. 이는 비자성체인 Cu 두께가 24 Å인 시료는 열처리한 후 반강자성적으로 결합한 막의 부분이 증가함으로써 400 °C까지는 증가하다가 500 °C에서 열처리하면 계면 스핀 의존 산란 강도를 저하시키는 계면확산에 의해 자기저항비가 감소하는 것이라고 생각한다. 이로부터 열처리하면 급격히 감소하는 자기저항비를 보이는 MBE로 제작한 시료의 경우와는 달리 스퍼터링 방법으로 제작한 Co/Cu 다층박막의 경우는 열적 안정성을 기대할 수 있는 결과라고 생각된다.

Fig. 7에는 glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(36 Å)]₂₀ 시료에 대한 상온 및 500 °C 이하의 온도에서 2시간 동안 열처리한 온도별 MRs 곡선이 나타나 있다. 이때 열처리 온도가 증가함에 따라 자기저항비는 점점 증가하였다. 이 결과로부터 Cu 두께가 24 Å인 시료의 경우와 비슷한 양상을 보이는 것이지만 이 시료의 경우는 500 °C에서 2시간 동안 열처리를 행한 후에도 자기저항비가 그대로 유지되는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 비자성체인 Cu의 두께가 얇은 시료인 경우는 500 °C의 열처리로 인해 두 원소가 계면에서 상호 확산됨으로써 자기저항비가 떨어지는 반면 Cu의 두께가 두꺼운 경우는 완전한 확산이 이루어지지 않아 그대로 자기저항비를 유지하는 것으로 생각된다.

Fig. 8에는 glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]₂₀ 시료에 대하여 열처리한 후 다층박막 구조가 그대로 유지되는지의 여부를 확인하기 위해 소각 X-선 회절 측정을 통해 조사한 결과를 나타내었다. 소각 회절선의 강도

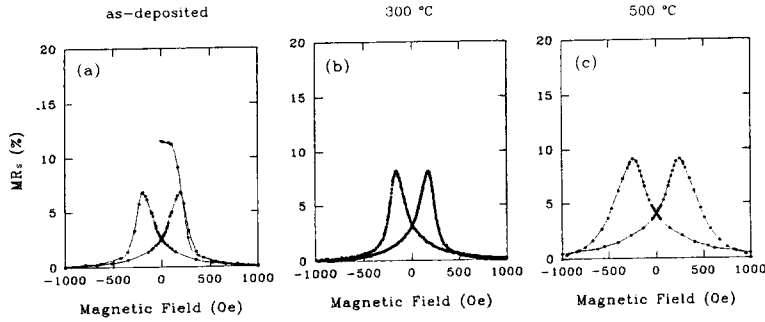


Fig. 7. Magnetoresistance curves of glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(36 Å)]₂₀ multilayer with annealing temperature of (a) as-deposited, (b) 300 °C and (c) 500 °C.

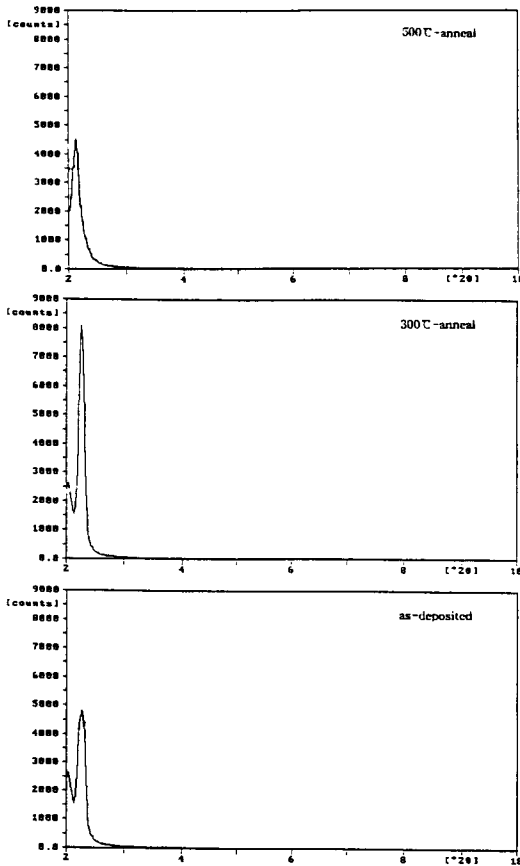


Fig. 8. Small-angle X-ray diffraction spectra for glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]₂₀ multilayer (a) as-deposited, annealed at (b) 300 °C and (c) 500 °C in 2 hrs.

감소는 두 원소가 계면에서 상호 확산됨으로써 다층구조가 무너지는 경우에 나타나지만 층간구조는 유지하더라도 장범위에 걸친 파동 현상이 심해지는 경우에도 나타날 수 있다는 보고가 있다[9]. Fig. 8에 나타나 있는 결과에서 열처리 온도가 증가함에 따라 소각 회절선의 강도가 증가하다가 500 °C에서 열처리 한 경우에는 소각 회절선의 강도가 감소하였음을 알 수 있다. 이로써 비교적 높은 온도까지 계면에서 두 원소가 섞이지 않은채 다층구조가 그대로 유지되는 것을 알 수 있다.

Fig. 9에는 glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(24 Å)]₂₀ 시료에 대한 상온 및 열처리 온도별로의 high angle X-선 측정 결과를 나타내었다. 여기서 fcc (111) 피크의 선폭은 열처리 온도가 높아짐에 따라 단조롭게 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 피크의 위치는 거의 변화하지 않았다. 이러한 결과는 열처리 후 막이 더 큰 결정립 구조를 갖는다는 것을 암시한다. 이의 이해를 돕기 위해 Table I에 Cu의 두께가 다른 시료에 대해 zero-field에서의 저항(R_0)을 나타내었다. 이때 모든 시료에 대해 열처리 후에 R_0 값이 감소하는 것을 보여 주고 있다. 이러한 결과는 열처리 후 막은 더 큰 결정립 구조를 갖게 된다는 것과 관련지어 이해할 수 있다.

Fig. 10은 glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(36 Å)]₂₀의 상온 및 300 °C, 500 °C에서 2시간씩 열처리한 시료에 대한 high angle X-선 회절 측정 결과이다. 여기서 상온 및 300 °C에서 열처리한 경우는 Cu 두께가 24 Å인 시료와 같이 2θ 가 약 44°에서 fcc (111) 피크가 나타났고 그 왼쪽에 위성 회절선도 관측된다. 그러나 500 °C에서 2시간 열처리한 경우에는 위성 회절선이 사라지고 2θ 가 약 52° 부근에서 (200) 피크가 나타났다.

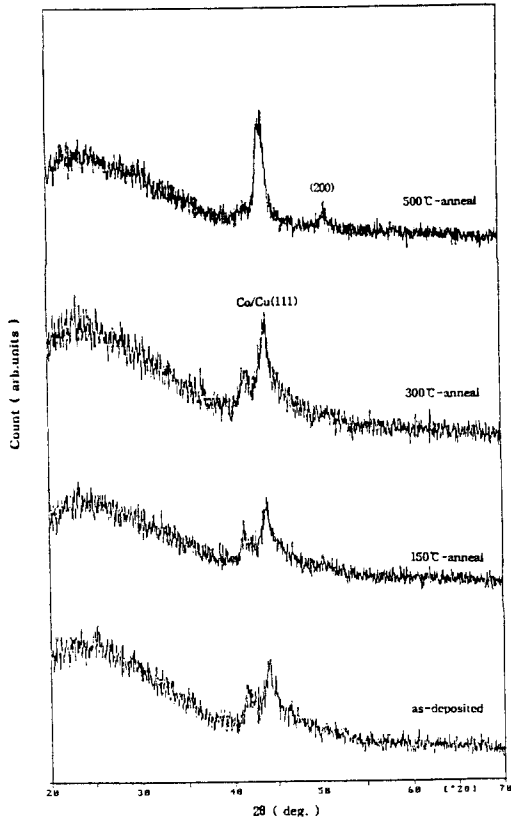


Fig. 9. High-angle X-ray diffraction spectra for glass/Fe (50 Å) / [Co (17 Å) / Cu (24 Å)]₂₀ multilayer (a) as-deposited, annealed at (b) 150 °C, (c) 300 °C, and (d) 500 °C in 2 hrs.

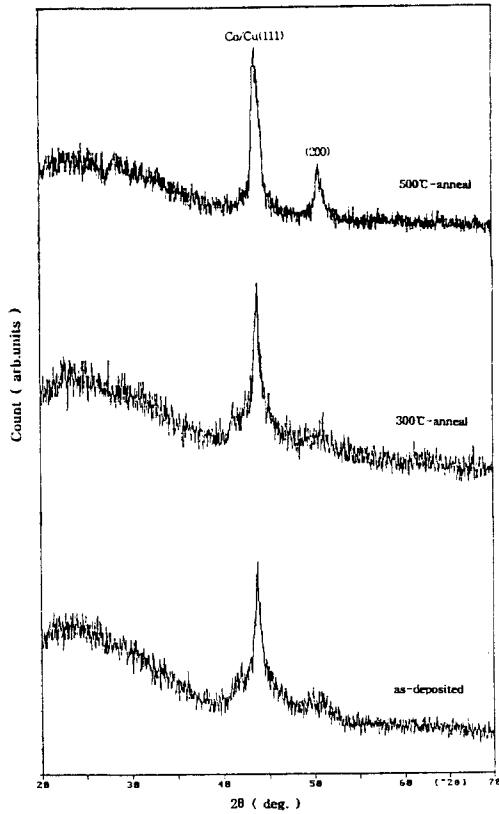


Fig. 10. High-angle X-ray diffraction spectra for glass/Fe (50 Å) / [Co (17 Å) / Cu (36 Å)]₂₀ multilayer (a) as-deposited, annealed at (b) 300 °C and (c) 500 °C in 2 hrs.

Table I. Resistance and magnetoresistance ratios at various annealing temperature during 2 hrs for the sample marked in Fig. 1, where T_a is annealing temperature, R₀ is the resistance at zero field, and MR_s is the saturation magnetoresistance ratios.

Samples	A	B	C	D	E
T _a (°C)	(t _{Cu} = 10 Å)	(t _{Cu} = 23 Å)	(t _{Cu} = 24 Å)	(t _{Cu} = 25.5 Å)	(t _{Cu} = 36 Å)
as-deposited	R ₀ (Ω) / MR _s (%) 14.41 / 0.7	R ₀ (Ω) / MR _s (%) 9.81 / 3.0	R ₀ (Ω) / MR _s (%) 9.08 / 11.0	R ₀ (Ω) / MR _s (%) 8.16 / 7.6	R ₀ (Ω) / MR _s (%) 4.55 / 6.8
150	13.78 / 0.3	8.36 / 4.1	8.42 / 12.5	7.63 / 8.1	4.09 / 7.2
250	13.14 / 0.2	7.68 / 4.6	8.17 / 13.0	6.87 / 8.9	4.02 / 7.9
300	12.69 / 0.15	6.52 / 5.2	8.10 / 13.8	6.15 / 9.2	3.88 / 8.2
400	·	5.86 / 3.6	7.23 / 11.8	5.83 / 8.7	3.55 / 8.7
500	·	4.67 / 2.0	5.54 / 2.6	5.26 / 2.8	3.43 / 8.8

Fig. 11에는 Fig. 1에 표기된 A($t_{Cu} = 10 \text{ \AA}$)~E($t_{Cu} = 36 \text{ \AA}$) 시료들에 대해서 상온 및 300 °C에서 2시간 열처리한 경우에 대해 VSM을 통해 자기이력곡선을 관측하여 자기저항비의 M_r/M_s 의 의존성을 살펴본 결과를 나타내었다. 여기에서 M_r 은 잔류자화를 나타내며 M_s 는 포화자화를 나타낸다. 이때 $1 - M_r/M_s$ 값은 Fe 기저층의 자화 기여도를 고려하여 $[1 + \frac{M_s(Fe)t(Fe)}{M_s(Co)t(Co)}]$ 를 측정된 $[1 - M_r/M_s]$ 값에 곱해줌으로써 보정하였다 [10]. 여기서 $M_s(Fe)$ 는 Fe의 포화자화 값(1714 emu/cm³)이며, $M_s(Co)$ 는 fcc Co의 포화자화 값(1547 emu/cm³)이다. 또한 $t(Fe)$ 는 Fe의 두께이고 $t(Co)$ 는 Co의 두께를 나타낸다. 다층박막에서 관찰된 거대 자기저항 현상은 반강자성 교환 결합(antiferromagnetic exchange coupling)을 통해 비자성층을 사이층으로 하여 인접해 있는 자성층의 자기모멘트 배열이 반평행상태에 도달하였다가 외부에서 자기장이 가해지면 각 층의 자기모멘트가 인가자장 방향으로 정렬되면서 인접한 자성층의 자기모멘트 배열이 평행상태로 될 때 스핀의 존 전도산란(spin dependent scattering of conduction electrons)량이 달라지게 되기 때문에 저항이 달라지는 현상이라고 일반적으로 이해되고 있다[11]. 이러한 스핀 의존산란은 계면에서 주로 일어날 수도 있고(predominant interface scattering) [12] 자성층 전반에 걸쳐서 일어날 수도 있다(bulk scattering) [13]. 그러나 실제로 제작된 다층박막의 경우는 기판, 기저층의 종류, 스퍼터링할 때의 제작조건 등에 따라 층상구조, 계면원소 혼합 등의 영향을 받게 되기 때문에 이상적인 다층박막의 경우와는 다르게 완전한 반강자성 결합상태에 이르지 못할 가능성이 있다. 그래서 실제의 경우에 한 시료에서 반강자성 결합을 하고 있는 부분과 반강자성 결합을 하지 않고 있는 부분이 여러 영역에 걸쳐 분포되어 있을 가능성이 있다. 여기에 외부에서 자기장을 인가해 주게 되면 낮은 자기장에서는 반강자성 결합을 하지 않은 영역이 먼저 포화에 접근하게 되고 자기장의 세기를 더욱 증가 시켜가며 인가해 줌에 따라 반강자성 결합을 하고 있는 영역의 모멘트가 회전하면서 통상의 이상적인 경우와 같이 포화에 도달하게 될 것이다. 반강자성 결합을 하는 영역이 더 큰 자기장 영역에서 포화에 이르게 되는 이유는 반강자성 결합을 극복하는 데 에너지가 필요하기 때문이다. 즉, 반강자성 결합력이 클수록 자화속도가 느려지게 되기 때문에 동일한 양의 모멘트가 포화상태에 도달하는 데 더 큰 자기장이 요구되는 것이다. Fig. 11에 나타내어진 결과도 이러한 측면에

서 설명 할 수 있다. 즉, 제작된 시료들을 300 °C에서 2시간동안 열처리를 해 줌으로써 반강자성적으로 결합하는 막의 부분이 증가함으로써 잔류자화 값이 작아지고 포화 자기장은 다소 증가하여 자기저항 값이 커지는 결과를 나타내는 것이라고 생각한다. 즉 자기저항비의 $1 - M_r/M_s$ 값에 대한 의존성은 직선적 의존성을 나타내었다.

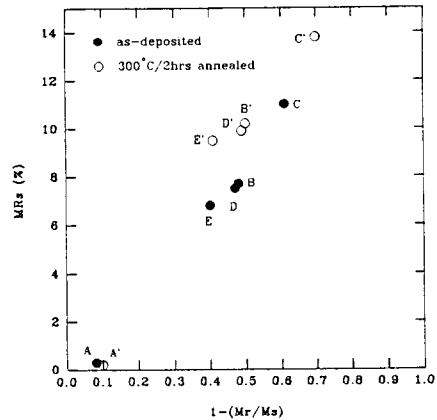


Fig. 11. MRs versus $1 - M_r/M_s$ in the glass/Fe(50 Å)/[Co(17 Å)/Cu(t Å)]₂₀ multilayer as-deposited and annealed at 300 °C in 2 hrs.

IV. 결 론

유리기판 위에 스퍼터링 방법으로 제작된 Co/Cu 다층박막에 관한 자기 저항비의 기저층 및 열처리 효과를 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 자기저항비의 Fe 기저층 두께 의존성을 조사한 결과 약 50 Å 두께 정도의 기저층이 요구된다는 것을 알 수 있었다.
- (2) Fe 기저층의 두께가 50 Å 이고 사이층 Cu 두께가 24 Å일때 극대 자기 저항비가 21 % 인 진동적 자기 저항이 관찰되었다.
- (3) 유리기판 위에 Cu 기저층을 증착할 경우에는 전류새 어흐름 효과등에 의하여 버퍼로서의 역할을 하지 못하여 자기저항비의 증가에 기여를 하지 못하였다.
- (4) 400 °C 까지의 열처리는 다층박막의 주기성을 유지한 채 더 큰 결정립 구조를 갖게 하였다. 비자성층인 사이층 Cu 두께가 24 Å인 시료는 열처리한 후 자기 저항비는 반강자성적으로 결합한 막의 부분이 증가함으로써 400 °C 까지는 증가하다가 500 °C에서 열

처리하면 계면확산에 의해 감소하였고 36 Å의 Cu 두께를 갖는 시료는 500 °C에서 2시간 동안 열처리를 행한 후에 도 제법 큰 자기저항비를 유지하여 MBE 방법으로 제작한 시료와는 달리 열적안정성이 좋다는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- [1] M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Crezet, and J. Chazelas, Phys. Rev. Lett., **61**, 2742 (1988).
- [2] S. S. P. Parkin, Z. G. Li, and D. J. Smith, Appl. Phys. Lett., **58** (23), 2710 (1991).
- [3] D. H. Mosca, F. Petroff, A. Fert, P. A. Schroeder, W. P. Pratt, Jr, and R. Laloe, J. Magn. Mater., **94**, L1 (1991).
- [4] G. Binash, P. Grunberg, F. Saurenbach, and W. Zinn, Phys. Rev. **B39**, 4828 (1989).
- [5] R. E. Camley and J. Barnas, Phys. Rev. Lett., **63** (6), 664 (1989).
- [6] C. Kittel, "Introduction to Solid State Physics", pp. 598, John Wiley & Sons (1986).
- [7] T. S. Plaskett and T. R. McGuire, J. Appl. Phys., **73**(10), 6379 (1993).
- [8] M. J. Hall, B. J. Jickey, M. A. Howson, M. J. Walker, J. Xu, D. Greig, and N. Wiser, Phys. Rev. B, **47**(19), 12785 (1993).
- [9] S. Joo, Y. Obi, K. Takashi, and H. Fujimori, J. Magn. Mater., **104**, 1753 (1992).
- [10] G. Rupp and K. Schuster, J. Magnetism and Magn. Materials, **121**, 418 (1993).
- [11] J. Mathon, J. Magn. Mater., **100**, 527 (1991).
- [12] S. S. P. Parkin, Appl. Phys. Lett., **61**(11), 1358 (1992).
- [13] M. J. Hall, B. J. Hickey, M. A. Howson, M. J. Walker, J. Xu, D. Greig, and N. Wiser, Phys. Rev. **B47**(19), 12785 (1993).

Effects of Buffer Layer and Annealing Temperature on Magnetoresistance in Co/Cu Multilayers

Mee-Yang Kim, Soo-Jung Choi, Kyu-Lee Choi, Eun-Young Shong and Jang-Roh Rhee

Physics Department, Sookmyung Women's University, Seoul 140-742, Korea

Sang-Suk Lee and Do-Guwn Hwang

Physics Department, Sangi University, Wonju 220-702, Korea

Chang-Man Park and Ky-Am Lee

Physics Department, Dankook University, Cheonan 330-704, Korea

(Received 5 April 1997, in final form 18 April 1997)

Dependence of magnetoresistance on the thickness of Cu, type and thickness of buffer layer, and the stacking number of multilayer in the form buffer / [Co (17 Å) / Cu (t Å)]₂₀ were investigated. To evaluate effect of annealing on this samples, X-ray diffraction analysis, vibrating sample magnetometer analysis, and magnetoresistance measurement (4-probe method) were performed. The magnetoresistance ratio exhibits a maximum of 21 % for the multilayer with Cu thickness of 24 Å and Fe buffer layer thickness of 50 Å. Deposition of film under low base pressure induces in increase magnetoresistance ratio by preventing oxidation. The multilayer annealed below 300 °C temperature allowed larger textured grain without loss in the periodicity. Magnetoresistance ratios of the multilayer with Cu thickness of 24 Å and 36 Å were increased due to the increase in the antiferromagnetically coupled fraction after annealing.