

플라즈마 산화시간과 열처리 조건에 따른 터널링 자기저항비의 온도의존특성에 관한 연구

김성훈 · 이성래 *

고려대학교 공과대학 재료공학부
서울특별시 성북구 안암동 5가 1번지 136-701

(2004년 5월 28일 받음, 2004년 6월 20일 최종수정본 받음)

자기 터널 접합(Magnetic Tunnel Junction, MTJ)의 플라즈마 산화시간과 열처리 온도에 따른 자기저항(Tunneling Magnetoresistance, TMR)의 온도의존특성을 연구하였다. 플라즈마 산화시간을 30 s에서 70 s까지 10 s 간격으로 변화시켜 측정된 결과, 산화시간 50초에서 상온에서 25.3%의 가장 높은 TMR 비를 얻었다. 스핀 분극도 P_0 와 스핀파 지수(spin wave parameter) α 를 구한 결과, 산화시간 50 s에서 40.3%의 가장 높은 스핀 분극도와 가장 낮은 온도 의존 특성인 $(10 \pm 4.742) \times 10^{-6} K^{-1.5}$ 의 스핀파 지수(spin wave parameter) α 값을 얻었다. 그리고 온도별 열처리 결과 175°C에서 TMR 비가 25.3%에서 27.5% 까지 증가하였으며 스핀파 지수는 $(10 \pm 0.719) \times 10^{-6} K^{-1.5}$ 까지 감소하여 온도의존도가 감소하였다.

주제어 : 터널링자기저항, 온도의존성, 산화시간, 열처리

I. 서 론

1975년에 Julliere[1]에 의해 스핀에 의존한 터널링 자기저항(TMR)이 발견된 이후, 재현성을 확보하지 못하여 20년간 진전을 보이지 못하다가, 1995년 Moodera에 의해 상온에서 TMR 현상이 재현되어 발표되었다[2]. 상온에서 40% 이상의 자기저항비와 낮은 포화자장, 전류의 흐름이 수직(Current Perpendicular to Plane, CPP)으로 흐르게 되어 전류 새어 흐름에 대한 자기저항비의 손실이 적다는 장점으로 초고기록 밀도 정보저장기기의 재생용 자기헤드 기술 및 비휘발성 메모리인 MRAM(Magnetoresistive Random Access Memory) 기술 응용을 위해 많은 연구가 진행되고 있다[3, 4].

이와 병행하여 TMR의 이론적인 현상에 관심을 가지고 온도의존특성에 대해서 많은 연구가 진행되었다. Julliere가 제시한 터널링 자기저항 이론은 전극재료로 사용된 강자성체의 스핀 분극도에만 의존하고 있어, TMR이 절연층의 상태에 영향을 받는다는 것과 온도가 증가하면서 감소한다는 사실을 설명해주지 못하고 있다[1]. Shang 등은 직접적인 터널링(direct elastic tunneling) 전도도와 터널링과 상관없는(indirect tunneling) 전도도를 나눠서 온도의존도를 해석했다. 전극 재료에 따라 스핀 분극도의 온도의존도가 달라지며, 큐리온도가 높은 재료가 전극재료로 사용되었을 때 스핀 분극도의 온도의존도가 낮다고 밝혀지고 있어, 재료가 가지는 고유의 스핀 분극도나 절연층의 결함이 많고 적음의 상태에 따라 TMR의 온도 의존 현상을 해석하고 있다[5, 6]. 그러므로

TMR의 온도 의존도는 스핀 분극화된 전자의 전도현상에 대한 이해와 절연층의 상태 및 계면의 상태를 이해하는데 매우 중요하며, 스핀 분극도가 높은 재료의 발견과 최적의 핀홀(pin-hole)이나 결함(defect)이 부재한 절연층을 설계하는데 있어서 물리적인 의미를 부여할 수 있도록 선행되어야 하는 연구 주제이다.

본 연구에서는 플라즈마 산화시간에 따른 TMR 비의 온도 의존도를 관찰하고, 그 결과를 통하여 TMR 비의 온도 의존 특성에 영향을 미치는 스핀 분극도의 온도 의존성을 분석하여 산화시간에 따른 계면의 상태를 파악하고자 하였다. 그리고 열처리된 터널접합의 온도 의존 특성을 관찰하고, 마찬가지로의 방법으로 스핀 분극도의 온도의존성을 분석하여 절연층과 자성층 사이의 계면의 상태를 정량적으로 비교 분석하고자 하였다.

II. 실험방법

2.1. 시편 제작 및 열처리

자기터널접합 시편은 4 gun RF 마그네트론 스퍼터를 이용해 제작하였다. 기판으로는 200 nm 열산화 막이 있는 Si(100) 웨이퍼를 사용하였다. 시편 제작시 초기 진공도는 5×10^{-7} Torr 이하로 유지하였다. 접합 시편의 구조는 SiO₂/Ta 5/CoFe 17/IrMn 7.5/CoFe 5/Al 1.6-Ox/CoFe 5/Ta 5 (nm)로 하였고, 3종류의 다른 금속 그림자 마스크를 이용하여 십자가 형태의 접합을 형성하였으며, 접합의 면적은 $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ 로 하였다. 절연층 형성은 1.6 nm의 Al을 먼저 증착한 후, O₂ 플라즈마 가스에 노출시키는 플라즈마 산화법을

*Tel: (02) 3290-3270, E-mail: kumetsrl@korea.ac.kr

이용하였고, 30초에서 70 s까지 10 s 간격으로 변화를 주어 산화시켰다. 접합 시편의 열처리리는 5×10^{-6} Torr 이하에서 하였으며, 시간은 20분으로 고정시키고, 175°C부터 225°C까지 온도별로 실시하였다.

2.2. 자기저항 및 온도의존 특성분석

TMR 비의 측정은 4-point probe를 사용하였으며 측정 장치는 11 kOe까지 자장을 인가할 수 있는 전자석, 가우스계기, 프로그래밍 전류원. 그리고 나노 볼트계기를 PC에 GPIB로 연결하여 기기의 제어 및 데이터를 수집하였다. TMR 비의 온도의존특성 분석은 Janis사의 Model 22 cryogenic 듀어 (duwars) 를 사용하였다. 각 산화시간별로 제작한 시편과 열처리 이후의 시편을 온도 10 K로 내린 후 300 K까지 온도를 상승시키면서 TMR 비의 온도의존도를 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

Fig. 1은 1.6 nm의 두께의 Al의 산화시간에 따르는 TMR 비, ΔR , 그리고 R의 변화를 보여준다. 산화시간 30 s에서는

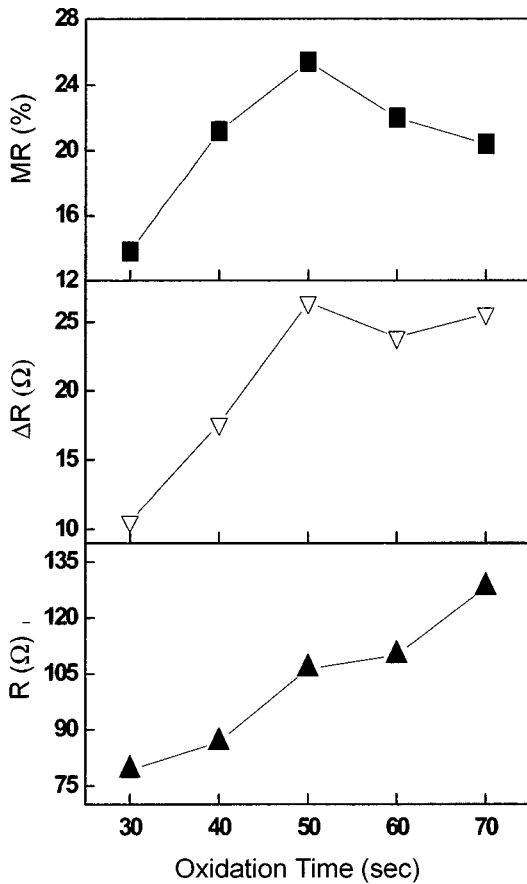


Fig. 1. TMR ratio, R, and ΔR variations as a function of plasma oxidation time.

13.8%의 TMR 비를 보이는데 반해, 산화시간이 50 s에서 25.3%를 보여 산화시간이 증가할수록 TMR 비 또한 증가하고 있다. 그러나 산화시간 60 s에서는 22%, 70 s에서는 20.4%를 나타내 50 s 이후 산화시간이 증가할수록 TMR 비가 감소하고 있다. 1.6 nm의 두께의 Al이 산화시간이 증가에 따라 산화가 진행되다가 50초에서 가장 적절히 산화된 것으로 판단되며, 그 이후에는 절연층 아래 전극(bottom electrode)의 고정층까지 산화된 것으로 판단된다. 저항값은 산화시간 30 s에서 79.3 Ω 에서 70 s에서는 128.2 Ω 까지 증가하고 있어, 산화시간이 증가할수록 형성된 절연층 베리어의 두께가 더 증가함을 알 수 있다[7].

Fig. 2는 산화시간변화에 따른 자기터널접합의 1 mV에서 300 mV까지 I-V 곡선을 도사한 후 Simmon's 공식을 통해서 터널링 유효장벽의 높이(effective barrier height)와 유효장벽의 두께(effective barrier thickness)를 fitting하여 얻은 결과와 V_h (half TMR의 바이어스 전압) 를 나타낸 것이다. 유효장벽의 높이와 유효장벽의 두께는 장벽지수(barrier parameter)라고 정의하며, 물리적인 의미로 유효장벽의 높이가 높으면 높을수록 터널링 장벽을 터널링이 아닌 장벽의 높이를 극복하고 전도하는 전자의 수가 적어질 확률이 많다. 그러므로 산화시간 50 s에서 1.64 eV의 가장 큰 유효장벽을 기록하고 있다. 유효 장벽의 두께는 역시 물리적인 의미로 터널링 장벽

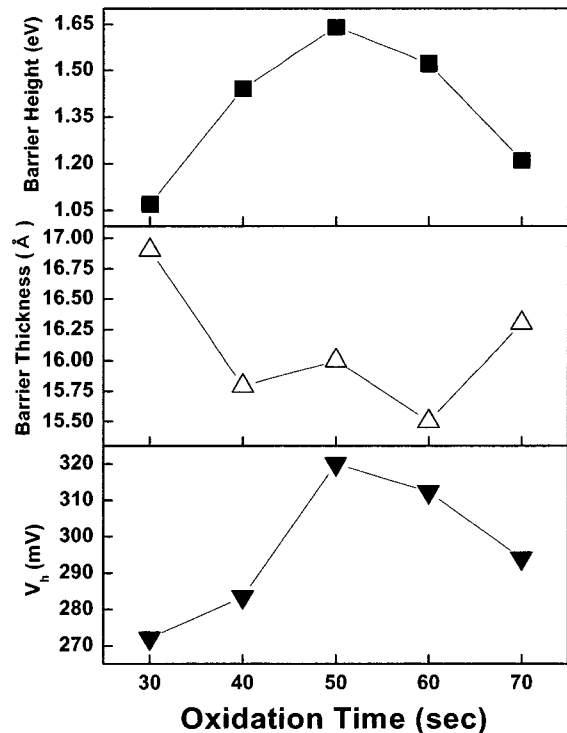


Fig. 2. Effective barrier height, effective barrier thickness, and V_h variations as a function of oxidation time.

의 두께를 이야기하는 것이다. 터널링 장벽의 두께가 얇으면 얇을수록 전자가 터널링 되는 확률이 더 많아진다. 하지만 본 실험에서 그다지 경향성을 보이지 않는데, 그 이유는 적절히 절연층이 형성되지 않았을 때는 장벽지수의 수치, 특히 유효 장벽의 두께가 정확히 구해질 수 없다고 보고되고 있다[8]. V_b 는 TMR 비의 인가전압 의존도의 척도로서, 인가전압이 걸렸을 때, TMR비가 절반으로 감소했을 때의 전압을 나타낸 것이다. 역시 TMR 비가 산화시간에 나타내는 거동과 마찬가지로 산화시간 50 s 이전까지 V_b 가 증가하다가 그 이후는 감소하고 있다. 적정 산화시간에 비하여 산화 시간이 짧은 경우는 산화되지 못한 Al이 존재하여 터널링 되는 전자의 스핀 분극(spín polarization)을 감소시키고[9], 산화 시간이 길 경우는 Al이 과산화되어 바닥층의 자성층에 생성된 산화물에 의해 터널 전자가 스핀전도산란(spín-flip scattering)되어 자기 저항이 감소되는 것으로 판단된다. 자기저항이 최대값을 갖는 이상적인 산화 시간을 갖는데 비하여, 저항은 산화시간이 길어질수록 증가하고 있고, 이상적인 산화시간에서 가장 낮은 인가전압 의존도를 가졌다. Zhang과 White는 산화 시간이 이상적으로 형성된 절연층에서 인가 전압 의존도가 가장 낮다고 밝혔다[10]. 최대의 TMR 비를 보이는 산화시간은 50 s 이고, V_b 는 약 320 mV 이다. 그러므로 최대 TMR 비와 장벽지수, V_b 로 판단했을 때 산화시간 50 s가 최적 산화시간임을

을 판단할 수 있다.

Fig. 3은 산화시간을 달리하여 제작한 자기터널접합을 cryogenic 듀어를 이용해 10 K에서 300 K까지의 TMR 비의 온도 의존도를 관찰한 결과와 산화시간에 따른 TMR 비의 온도 의존도결과를 normalize 시킨 것이다. 산화시간 30 s인 경우 10 K에서 300 K까지의 TMR 비는 26.1%에서 13.8%로 48% 감소하여 가장 높은 온도 의존도를 보이고 있고, 산화 시간 50 sec로 증가할 때까지 TMR비의 온도 의존도는 감소하고 있다. 산화 시간 50 s인 경우에는 TMR 비가 38.1%에서 25.3%로 34% 감소하여 덜 산화된 경우와 비교했을 때, 매우 낮은 온도 의존특성을 보여주고 있다. 산화시간이 증가할수록 TMR 비의 온도 의존도는 증가하고 있다. 산화 시간 60 s인 경우, TMR 비가 35.1%에서 21.9%로 38% 감소하고 있으며, 70 s의 경우, TMR 비가 34.8%에서 20.4%로 42% 감소하여 최적 산화조건 보다 높은 온도 의존특성을 나타낸다.

온도 의존도에 영향을 미치는 원인을 분석하기 위해 각각의 터널접합 가진 스핀이 반평행 할 때의 최대 저항값과 스핀이 평행 할 때의 최소 저항값을 바탕으로 Hagler가 구성한 식을 이용해 온도에 따른 스핀 분극도 $P(T)$ 를 구할 수 있었고, 이 결과를 Fig. 4에 나타내었다[6]. Hagler가 가정을 내린바와 같이 다층 박막으로 구성된 전극재료인 경우 특정 스핀 분극도를 정확히 알 수 없으나, 절연층을 접하고 있는 전극재료가 같기 때문에 스핀 분극도의 $P(T)$ 를 같다고 가정하였다. 스핀 분극도 $P(T)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$P(T) = P_0(1 - \alpha T^{1.5})$$

주어진 실험 결과에 의해 구한 $P(T)$ vs. T 의 결과로 식에서 나타난 P_0 는 외삽하고, 스핀파지수 α 는 fitting 하여, 결과를 Table 1에 나타내었다. 여기서는 0 K에서의 스핀분극

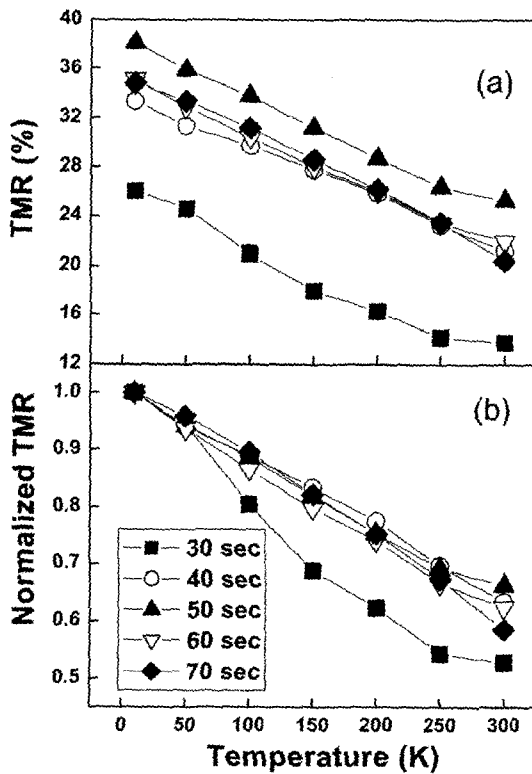


Fig. 3. Temperature dependence of TMR ratio and normalized TMR ratio on oxidation time.

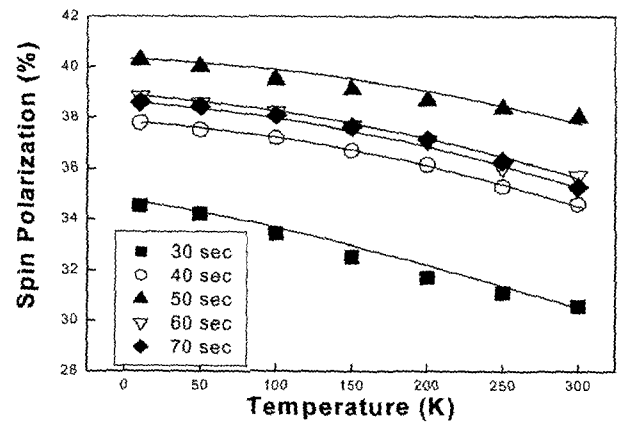


Fig. 4. Temperature dependence of spin polarization on plasma oxidation time. Solid lines indicate the fitted line using $P(T) = P_0(1 - \alpha T^{1.5})$.

Table 1. Spin wave parameter α and P_0 for various plasma oxidation time

Oxidation time	Parameter	$\alpha (\times 10^{-6} K^{-1.5})$	$P_0 (\%)$
30 sec		30 ± 0.266	34.5
40 sec		20 ± 0.205	37.8
50 sec		10 ± 4.742	40.3
60 sec		20 ± 0.209	39.8
70 sec		20 ± 0.508	38.6

도는 실제적으로 온도에 영향을 받지 않는 순수한 스핀 분극도 값으로 볼 수 있으며, 스핀파지수는 각 강자성체가 $T^{1.5}$ 에 비례하여 자화값이 온도에 따른 스핀의 열적 진동에 의해 감소하는데 그 감소하는 정도를 나타내는 상수로써 T_c (Curie Temperature)에 의해 결정이 되는 재료 고유의 상수이다. 터널링에 의한 스핀 분극도에 적용이 가능하여 위식이 적용되는 것으로 보고되고 있다[5].

기존에 보고된 바와 달리 산화시간에 따른 스핀 분극도의 온도 의존도는 같은 전극재료를 사용하더라도 다르게 나타난다. 산화시간 30 s에서는 스핀 분극도의 온도 의존도를 결정하는 0 K에서의 스핀 분극도 P_0 는 34.5%로 나타나고, α 는 $(30 \pm 0.266) \times 10^{-6} K^{-1.5}$ 로 가장 높은 값을 가지고 있다. 역시 산화시간이 증가하면서 50 s까지 0 K에서의 스핀 분극도 P_0 는 40.3%까지 증가하고 있고, α 는 $(10 \pm 4.742) \times 10^{-6} K^{-1.5}$ 감소하여 온도 의존도가 감소함을 보여준다. 산화시간이 더 증가하면서 산화시간 70 s까지 스핀 분극도 P_0 는 38.6%까지 감소하고, α 는 $(20 \pm 0.508) \times 10^{-6} K^{-1.5}$ 까지 증가한다.

30 s와 40 s는 산화가 덜 진행되어 잔류 Al이 남았다고 판단할 수 있으며, 30 s의 경우에는 잔류 Al의 양이 정량적으로 구할 수는 없으나 상대적으로 더 많다는 것을 판단할 수 있었다. 이는 산화가 덜 진행되어 존재하는 잔류 Al이 상자성 거동을 하여 스핀 정보를 가진 전자를 터널링이 진행시에 탈분극화(depolarizing) 시킨다. 그러므로 최적의 조건에서 보다 매우 낮은 스핀 분극도를 보이고, 절연층과 자성층 전극계면에서 스핀 정보를 가진 전자를 산란시키기 때문에 매우 큰 온도 의존도를 보인다[9]. 60 s와 70 s의 경우에는 과산화로 볼 수 있으며, 이는 곧 고정층 강자성 전극의 계면에 부분적인 산화가 일어나, 스핀전도 산란(spin-flip scattering)이 발생하여 온도 의존도가 매우 크다. Shang 등이 밝힌 것처럼 절연층과 전극사이에 산화되거나 손상된 계면이 존재할 때는 α 값은 매우 커져 스핀 분극도 및 TMR비의 온도 의존도는 매우 커진다고 밝히고 있다[5]. 그리고 부분적인 산화가 일어났을 때, 자성체 계면에서 CoO나 Co_3O_4 가 생성된다. CoO는 280 K 이하에서 반강자성체로 거동할 수 있어 스핀이 정렬되려는

성질을 있고, Co_3O_4 는 ferrimagnet으로 43 K 이하에서 자성체의 성질을 가질 수 있다[11]. 그러므로 과산화 상태는 under-oxidation 보다 스핀 분극도가 크고, 온도에 덜 의존한다. 그러나 최적 산화시간일 때, 1.6 nm Al의 두께에 적절히 산화된 경우이기 때문에 α 는 매우 적은 값을 나타낸 것으로 보아 강자성 전극이 본래의 성질을 가질 수 있도록 가장 깨끗한 계면을 가지고 있는 것으로 판단된다. 이처럼 산화시간에 따라서 별다른 미세 구조 분석 없이도, α 와의 비교분석을 통하여 스핀 분극도의 온도 의존성을 통하여 절연층과 자성층 계면의 상태를 예측할 수 있다.

Fig. 5는 열처리 온도를 175°C에서 225°C까지 증가시키며, 20분 동안 열처리한 결과로써 TMR 비, 저항, ΔR 의 결과를 나타낸 것이다. 열처리 온도가 175°C 일때, 25.3%에서 27.5%까지 증가하여, 열처리에 따른 TMR 비의 향상 효과가 나타나지만, 200°C부터는 열화 되어 감소하는 결과가 나타나고 있다. 최적 열처리 온도는 175°C로, 그 온도에서는 절연층 내의 산소원자의 재분배로 stoichiometry에 가까운 Al_2O_3 를 형성하거나, 절연층 내의 결합의 수가 감소한다고 보고하고 있으며, 자성층 계면에 존재하는 산소원자가 절연층으로

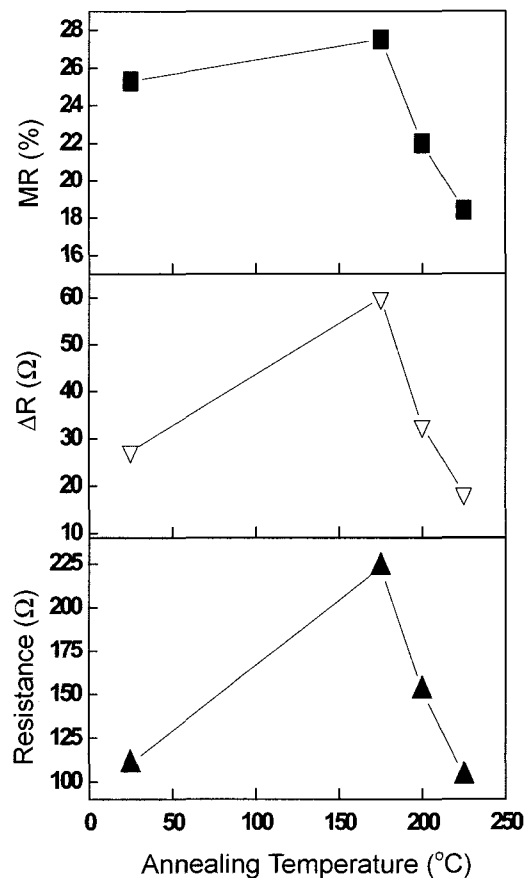


Fig. 5. TMR ratio, R, and ΔR variation as a function of annealing temperature. Annealing time was 20 min.

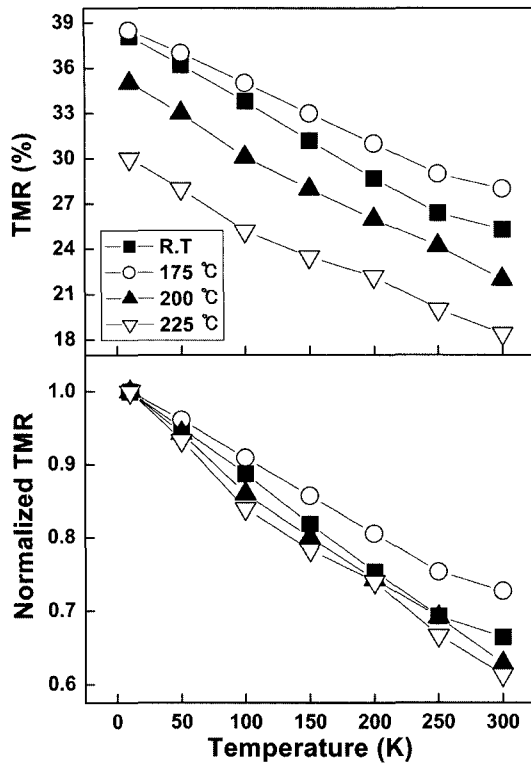


Fig. 6. Temperature dependence of TMR ratio and normalized resistance on annealing temperature.

확산해 들어가 절연층의 성질이 강화되고, 자성층의 산화된 영역이 감소하는 효과가 나타나고 있다[12]. 그러나 200°C에서 225°C까지 열처리 온도를 증가시킨 결과, TMR 비를 향상시키기 위한 최적 열처리 온도를 넘어간 것으로 보이며, 열화현상으로 인하여 22%로 TMR 비의 감소와 더불어, 저항이 낮아지고 ΔR 역시 감소하여 절연층 및 계면의 성질이 저하된 것으로 판단된다.

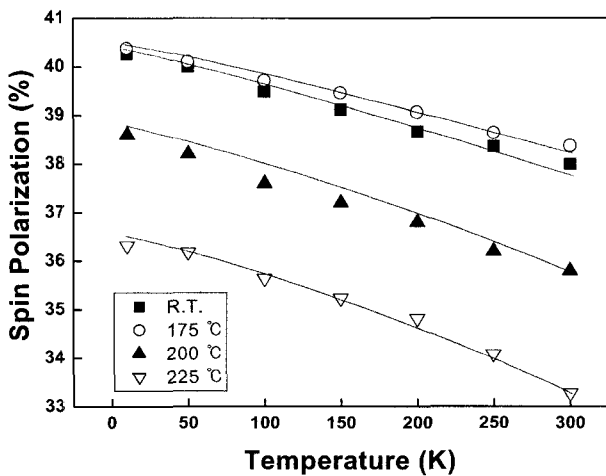


Fig. 7. Temperature dependence of spin polarization on annealing time. Solid lines indicate the fitted line using $P(T) = P_0(1 - \alpha T^{1.5})$.

Table 2. Spin wave parameter and P_0 for various annealing temperature

Parameter	$\alpha (\times 10^{-6} K^{-1.5})$	$P_0 (\%)$
Oxidation time		
As-deposited	10 ± 4.742	40.3
175°C	10 ± 0.719	40.4
200°C	20 ± 0.762	38.7
225°C	20 ± 1.237	36.5

증착된 상태에서 20분 동안 175°C에서 225°C까지 15°C 간격으로 온도를 증가시켜 가면서 열처리를 실시하고, 각 열처리 실험을 마친 후에 10 K~300 K까지 TMR 비의 온도의존도를 측정하였다. Fig. 6은 온도에 따른 TMR 비와 Normalized TMR 비를 나타낸 것이다. 열처리 온도가 175°C 일 때, TMR 비는 온도의존도가 매우 낮다.

앞에서와 같이 온도에 따른 스핀 분극도 $P(T)$ 를 구하였다. 그 결과를 Fig. 7과 Table 2에 나타내었다. 열처리를 20분간 실시했을 때, 스핀 분극도는 40.3%에서 40.4%로 α 의 값이 열처리 온도 175°C에서는 $(10 \pm 0.719) \times 10^{-6} K^{-1.5}$ 로 소량 감소하였다. 열처리 온도가 증가하면서 225°C까지 스핀 분극도는 36.5%까지 감소하고, $(20 \pm 1.719) \times 10^{-6} K^{-1.5}$ 로 증가해 온도의존도가 증가함을 보여준다.

온도 175°C에서는 열처리 항상 효과를 통해서 절연층과 자성층 사이의 계면의 성질이 향상되는 것이 주된 원인으로 파악되고 있으며, 산소 원자의 재분배 또한 영향을 미친다고 판단된다[12]. 절연층과 자성층 사이의 계면의 성질이 향상되었기 때문에, 표면 손상에 의한 강자성체의 교환 결합력을 약화시키는 효과가 줄어들어 α 값의 감소에 기인된다고 판단된다[6]. 열처리를 통하여 bulk 재료의 스핀 분극도 값을 회복하여 TMR 비가 향상된 바가 보고된 바 있어, 스핀분극도의 온도의존도 분석을 통하여 TMR 비의 향상을 위한 적절한 온도에서의 열처리로서 절연층과 전극재료사이의 계면의 상태가 나아짐을 비교 분석할 수 있다[13].

IV. 결 론

플라즈마 산화시간에 따른 자기터널접합의 10 K부터 300 K까지 온도의존특성 분석결과, 산화가 덜 되었을 때 스핀분극도는 가장 작은 값을 보였고, 높은 스핀과 지수 값을 보여 온도의존특성이 높음을 보였다. 이는 절연층과 전극재료 사이에 잔류 알루미늄 존재하고 상자성거동을 하여, 온도의존도를 높게 하고 스핀 정보를 가진 전자가 탈분극화되기 때문이다. 과산화가 되었을 때는 아래 전극의 절연층과 접해있는 자성층이 산화되어 계면에서 CoO나 Co_3O_4 가 생성된다. 각각 저

온에서 반강자성체나 페리자성거동을 보여 스핀이 정렬되려는 성질이 있어 스핀분극도 값이 산화가 덜 진행되었을 때보다 크지만, 스핀전도 산란이 발생되어 온도의존도는 최적 산화 조건보다 크다. 175°C에서 20분 동안 열처리 한 결과 TMR 비는 상승하였고, 스핀 분극도의 온도의존도 역시 감소하였다. 이것은 열처리로 인해서 계면상태가 더 나아지는 것으로 판단된다.

스핀 분극도의 온도의존도 분석을 통해 재료의 상수로써 인식되었던 인자들이 계면의 상태를 통해 다르게 나타나며, 절연층 제작 조건이나 열처리 결과에 따라서 계면의 상태를 정량적인 수치로 파악할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 국가지정 연구실 지원에 의해 수행된 결과의 일부이며 연구비 지원에 사의를 표하는 바이다.

참 고 문 헌

[1] M. Julliere, Phys. Lett. **54A**, 225 (1975).

[2] J. S. Moodera, L. R. Kinder, T. M. Wong, and R. Meservey, Phys. Rev. Lett. **74**, 3273 (1995).
 [3] S. Gider, B.-U. Runge, and A. C. Marley, S. S. P. Parkin, Science **281**, 797 (1998).
 [4] S. Tehami, J. M. Slaughter, E. Chen, M. Durlam, J. Shi and M. Deherrera, IEEE Trans. Magn. **35**, 2814 (1999).
 [5] C. H. Shang, J. Nowak, R. Jansen and J. S. Moodera, Phys. Rev. B. **58**, R2917 (1998).
 [6] T. Hagler, R. Kinder, G. Bayreuther, J. Appl. Phys. **89**, 7570 (2001).
 [7] R. Jansen and J. S. Moodera Phys. Rev. B. **61**, 9047 (2001).
 [8] J. S. Moodera, G. Mathon, J. Magn. Mater. **200**, 248 (1999).
 [9] T. Mitsuzuka, K. Matsuda, A. Kamijo, and H. Tsuge, J. Appl. Phys. **85**, 5807 (1999).
 [10] J. Zhang and R. M. White, J. Appl. Phys. **83**(11), 6512 (1998).
 [11] J. S. Moodera, E. F. Gallagher, K. Robinson, and J. Nowak, Appl. Phys. Lett. **70**, 3050 (1997).
 [12] M. Sato, H. Kikuchi, and K. Kobayashi, J. Appl. Phys. **83**, 6691 (1998).
 [13] Xiu-Feng, Mihiko Oogane, Hitoshi Kubota, Yasuo Ando, and Ternobu Miyazaki, Appl. Phys. Lett. **77**, 283 (2000).

A Study on Temperature Dependence of Tunneling Magnetoresistance on Plasma Oxidation Time and Annealing Temperature

Sung Hoon Kim and Seong-Rae Lee*

Division of Materials Science and Engineering, Korea University, Seoul 136-701

(Received 28 May 2004, in final form 20 June 2004)

We have studied to understand the barrier and interface qualities and structural changes through measuring temperature dependent spin-polarization as functions of plasma oxidation time and annealing time. Magnetic tunnel junctions consisting of SiO₂/Ta 5/CoFe 17/IrMn 7.5/CoFe 5/Al 1.6-Ox/CoFe 5/Ta 5 (numbers in nm) were deposited and annealed when necessary. A 30 s, 40 s oxidized sample showed the lowest spin-polarization values. It is presumed that tunneling electrons were depolarized and scattered by residual paramagnetic Al due to under-oxidation. On the contrary, a 60 s, 70 s oxidized sample might have experienced over-oxidation, where partially oxidized magnetic dead layer was formed on top of the bottom CoFe electrode. The magnetic dead layer is known to increase the probability of spin-flip scattering. Therefore it showed a higher temperature dependence than that of the optimum sample (50 s oxidation). Temperature dependence of 450 K annealed samples was improved when the as-deposited one compared. But the sample underwent 475 K and 500 K annealing exhibits inferior temperature dependence of spin-polarization, indicating that the over-annealed sample became microstructurally degraded.

Key words : tunneling magnetoresistance, temperature dependence, oxidation time, annealing effect