

Mumetal 박막의 성장온도가 유도자기이방성에 미치는 영향

이영우* · 김철기 · 김종오

충남대학교 재료공학과
대전광역시 유성구 공동 220, 305-764

(2002년 4월 8일 받음, 2002년 4월 20일 최종수정본 받음)

110 Å 두께의 Mumetal 박막을 자기장하에서 기판온도를 변화시키면서 제작하고, 고진공 분위기에서 자기장중 열처리를 수행하였다. 박막에 유도되는 자기이방성은 인가자기장 방향에서 30° 간격으로 180°까지 자기이력곡선을 측정하여 조사하였다. 기판온도가 증가할수록 용이축 방향의 보자력은 감소하였으나 일축이방성은 인가자기장 방향에서 벗어났다. 200°C에서 한 시간 동안 자기장중 열처리를 수행하면 기판온도에 상관없이 일축이방성이 향상되었다. 기판온도가 50°C 이하일때 4.3 Oe의 이방성 자기장을 나타냈으며 기판온도가 증가할수록 이방성 자기장은 감소하였다. Mumetal 박막의 일축이방성은 열처리 전후 모두 50°C에서 가장 잘 유도되었다.

주제어 : Mumetal, 유도자기 이방성, 기판 온도, 열처리

I. 서 론

최근 전자소자의 경박단소화에 따라 자성박막에 대한 연구가 급격히 증가하고 있다. 그중에서도 퍼말로이 박막은 우수한 연자기적 특성을 나타내기 때문에 많은 연구가 이루어져 왔다[1-5]. 퍼말로이는 Ni과 Fe의 조성비에 따라 자기이방성 및 자기변형 특성이 바뀌고, 제 3의 원소로 Mo이나 Cu 등을 첨가하면 자기변형 및 결정자기 이방성이 감소하고, 다결정구조에서 평균 결정자기 이방성의 감소로 초투자율이 증가하는 등 다양한 가능성을 지닌 재료이다[6]. 특히 이방성자기 저항 또는 스핀밸브 구조를 갖는 거대자기저항, 터널링자기저항 등의 소자에서 자유층으로도 이용되고 있다[7-9].

자기저항에 이용되는 퍼말로이 박막은 일축이방성을 갖는 것이 소자활용 측면에서 유리하다. 현재 제작되는 퍼말로이 박막은 대부분 물리기상증착법으로 제작되고 다결정구조를 갖는다. 다결정구조 퍼말로이 박막이 일축이방성을 갖도록 하기 위해서는 성막하는 동안 자기장을 인가하거나 성막후 자장중 열처리를 하는 방법이 있다. 그러나 다결정 구조를 갖는 박막의 유도자기 이방성은 제작조건이나 후처리과정에서 결정상의 발달에 영향을 받는다. 따라서 박막면내의 자기이방성의 효과적으로 활용하기 위하여 박막성장 조건에 따른 자기이방성 변화를 조사할 필요가 있다.

본 연구에서는 투자율이 크고 자기변형이 거의 없는 퍼말로이(Mumetal; Ni₇₇Fe₁₄Mo₅Cu₄ wt%) 박막을 기판온도를 상온에서 점차적으로 증가시키면서 실리콘 웨이퍼 기판에 제작하고, 유도자기 이방성을 조사하였다.

II. 실험 방법

Mumetal 박막을 rf magnetron sputtering 방법으로 열산화막을 갖는 Si 기판에 100 Oe의 자기장하에서 제작하였다. 성장실의 기본 진공은 3×10^{-7} Torr 이하였으며 Ar 가스 압력은 3×10^{-3} Torr로 유지하였다. RF 입력 전력은 60 W였다. Mumetal 박막의 성막속도는 투과전자현미경(TEM)과 α -step을 이용하여 계산한 결과 0.74 Å/s이었고 제작된 모든 박막의 두께는 110 Å이었다. 기판온도는 칠리와 발열체를 이용하여 20°C에서부터 90°C까지 변화시켰다.

박막의 다결정 구조를 조사하기 위하여 X 선 회절(CuK α) 실험을 하였다. 성막중 인가자기장 방향으로부터 0°에서 180°까지 30° 간격으로 회전하면서 진동시료형자력계(VSM)로 자기이력곡선을 측정하여 이방성 특성을 분석하였다. 이후 박막의 유도자기 이방성을 유발시키기 위해 고진공($<5 \times 10^{-6}$ Torr), 200°C에서 한 시간 동안 자기장 열처리를 하였다. 이때 자기장은 성막하는 동안 인가한 자기장과 동일한 방향으로 1000 Oe을 인가하였다.

III. 결과 및 토론

Fig. 1은 20°C, 50°C, 75°C에서 성장시킨 박막의 X 선 회절패턴이다. 모든 기판온도에서 (111) 면 방향으로 우선성장하고 있음을 알 수 있다. 기판온도(Ts)가 올라감에 따라 큰 변화는 보이지 않는다. Mumetal의 Mo이 Ni과 Fe의 규칙상(ordered phase, Ni₃Fe) 생성을 저지하고 원자 확산을 방해하여 저온에서 결정립의 성장을 억제하기 때문으로 판단된다. Fig. 1(b)에 제시된 것처럼 200°C에서 한 시간 열처리 한

*Tel: (042) 821-6227, E-mail: miru@cnu.ac.kr

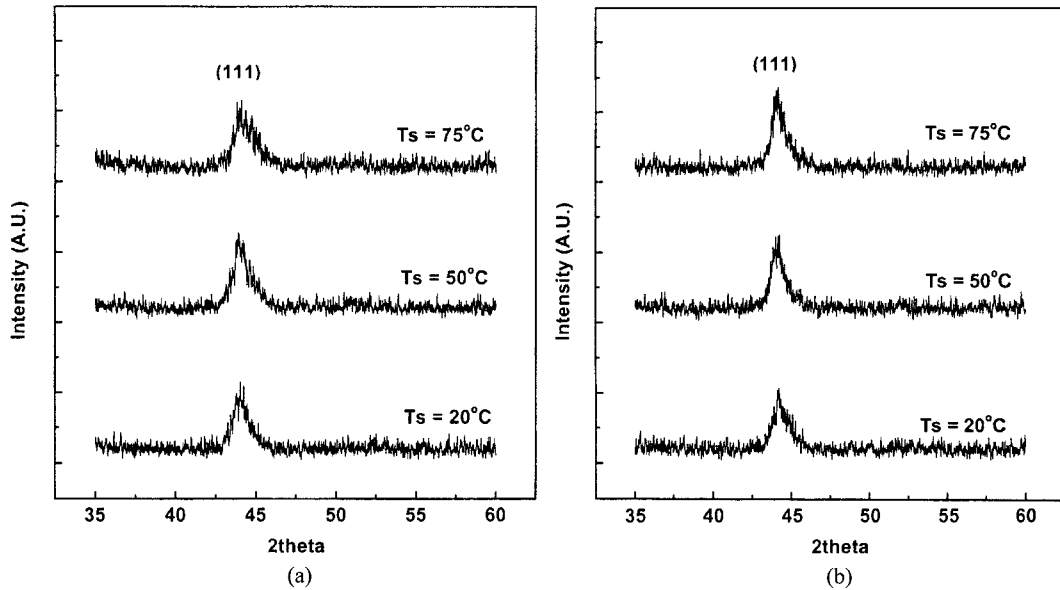


Fig. 1. XRD patterns of Mumetal films grown at various substrate temperature : (a) as-deposited samples, (b) after annealing at 200 °C for 1 hr.

후에도 Mumetal 박막의 결정상은 거의 변화하지 않았다. 이것은 기존의 Ni₈₁Fe₁₉ 퍼말로이에 대한 연구결과들과도 일치한다[4].

Fig. 2는 50 °C와 75 °C에서 제작된 Mumetal 박막의 최대 보자력과 최소 보자력을 갖는 각도의 자기이력 곡선들을 보여준다. 50 °C의 경우, 인가자기장 방향으로 측정된 자기이력 곡선은 보자력, 각형비, 이력손실들이 인가자기장에 수직인 방향으로 측정된 자기이력곡선에 비해 크다. 75 °C 샘플에서는 인가자기장 방향일 때 보자력과 이력손실은 작고 각형비는 크다. 반대로 인가자기장에 수직일 때 보자력과 이력손실은 증가하고 각형비는 감소한다.

Fig. 3은 20 °C에서 90 °C까지 기판온도를 증가시키면서 성막한 박막의 자기이력곡선에서 계산한 보자력 값들을 보여준다. x 축의 각도는 박막 면내에 성막하는 동안 인가해준 자기장 방향으로부터 벗어난 각도이다. 각도에 따른 보자력의 변화는 기판온도 50 °C를 기점으로 서로 다른 경향을 보여주고 있다. 상대적으로 낮은 온도인 20 °C와 40 °C의 경우 각도의존성이 잘 드러나지 않는다. 그러나 50 °C의 경우 0°와 180°에서 거의 동일한 값을 보이고 90°에서 가장 작은 값을 갖는 180° 주기성을 잘 보여주고 있다. 기판온도가 60 °C 이상일 때, 0°와 180°에서의 보자력은 점차 감소하지만 대신 자화용이축에서 벗어날수록 보자력이 증가하고 90°를 지난 120°

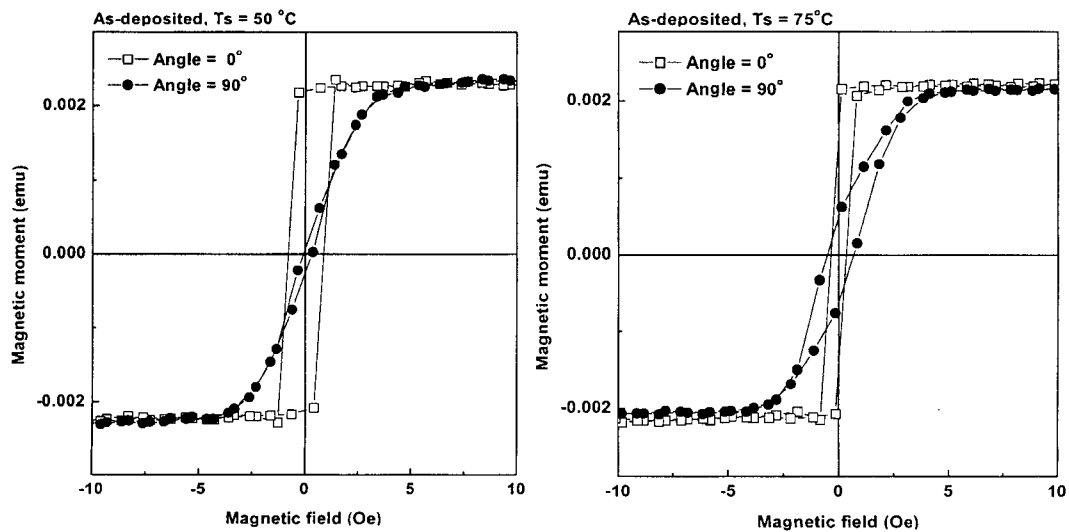


Fig. 2. Magnetic hysteresis loops of Mumetal films at Ts = 50 °C and 75 °C.

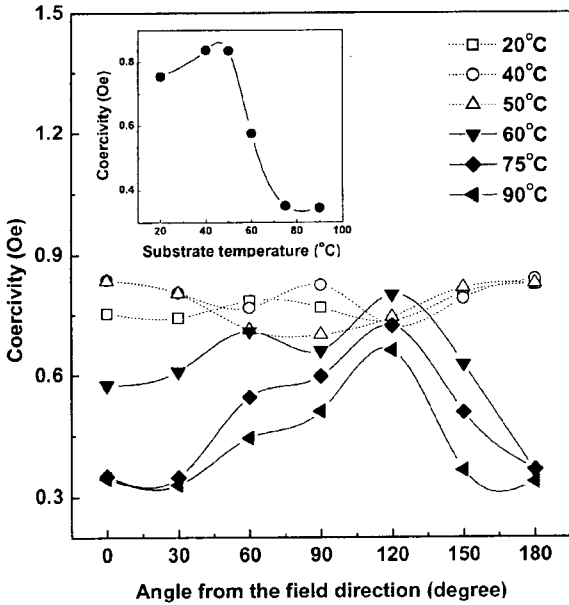


Fig. 3. Coercivities measured at various angles from the easy axis in as-deposited samples.

에서 최대값을 갖는다. 이러한 경향은 기판온도가 상승하고 결정성장이 진행되면서 결정자기 이방성이 증가하여 자화용이축을 벗어날수록 보자력이 증가하는 것으로 판단된다. 측정각도가 120°에서 보자력이 최고값을 보이는 것은 30°에서 작은 보자력을 보이는 것과 같은 이유로 성막하는 동안 마그네트론 건에서 발산되는 누설자기장에 의한 것으로 판단된다. 동시에 인가자기장이 일축이방성을 유도하기에 충분하지 않다는 것을 보여준다. 측정각도가 0° 일 때의 보자력을 살펴보면 온도가 증가할수록 증가하다가 50°C를 기점으로 감소하고 75°C 이상에서 낮은 보자력을 유지함을 알 수 있다.

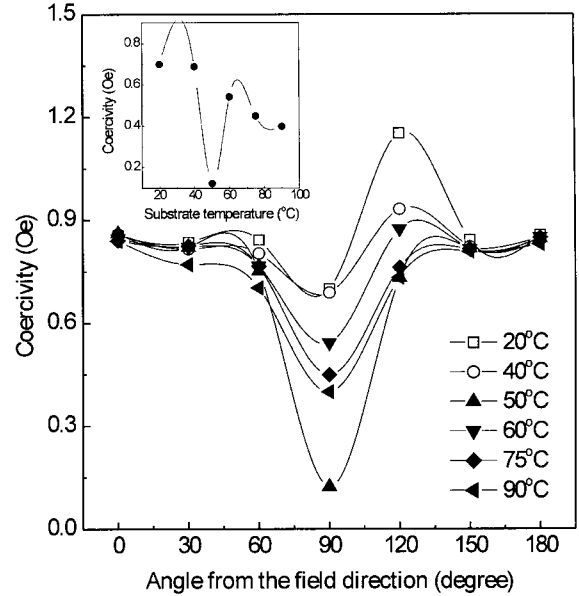


Fig. 5. Coercivities measured at various angles from the easy axis after annealing at 200 °C, 1000 Oe for 1 hr.

Fig. 4는 열처리 후의 일축이방성이 유도된 50°C와 유도되지 않은 20°C의 자기이력곡선을 보여준다. 50°C에서는 0° 일 때 보자력, 각형비, 이력손실이 크고 90° 일 때 보자력, 각형비, 이력손실이 감소함을 알 수 있다. 반대로 20°C의 자기이력곡선들은 측정각도에 따라 보자력, 각형비, 이력손실의 차이가 크지 않음을 보여준다.

Fig. 5는 열처리 후 용이축에서의 각도 함수로 측정된 자기이력곡선의 보자력을 보여준다. 열처리전과는 달리 모든 박막에 일축이방성이 생성되어 있음을 알 수 있다. 측정각도 0°와 90°의 경우 열처리 전에는 분산되어 있던 보자력들이 0.8 Oe

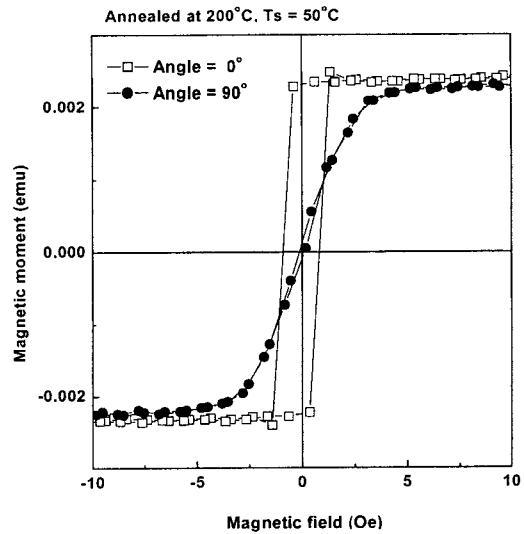
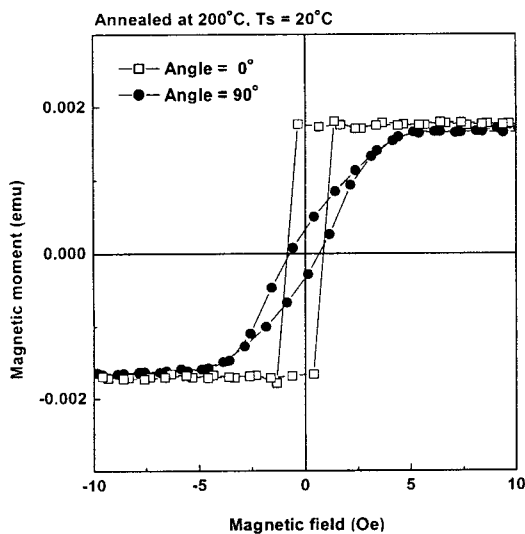


Fig. 4. Magnetic hysteresis loops of Mumetal films at 20°C and 50°C after annealing at 200°C, 1000 Oe for 1 hr.

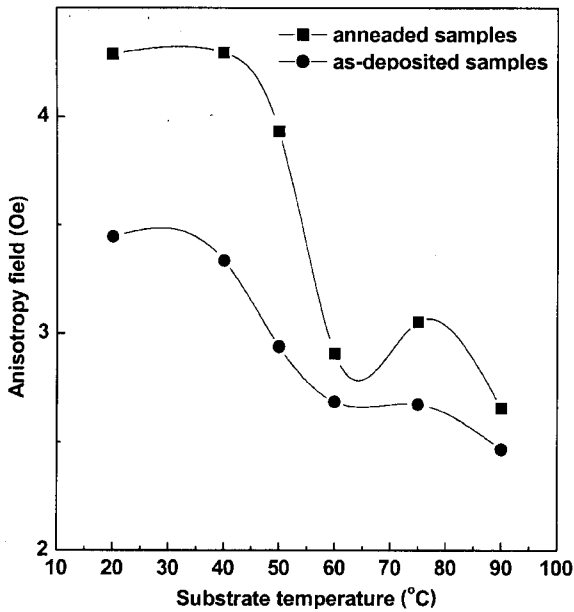


Fig. 6. Anisotropy field of Mumetal film of as-deposited and annealed samples at 200 °C, 1000 Oe for 1 hr.

을 중심으로 수렴되었으며 30°, 60°, 120°, 150°에서는 보자력의 변화가 매우 작고 90°에서 크게 감소하고 있다. 열처리 전 유도자기 이방성이 생성된 50 °C의 경우 자장중 열처리에 의해 90° 보자력이 0.3 Oe 이하로 감소하면서 가장 큰 열처리 효과를 보여주고 있으며, 반대로 20 °C에서 제작된 박막은 상대적으로 다른 온도에서 제작한 박막에 비하여 일축이방성이 잘 유도되지 않았다. 또한 측정각도 90°에서의 보자력 변화추이를 보면 50 °C까지는 급격히 감소하다가 60 °C 이상에서 다시 증가한 후 90°까지 완만하게 감소함을 보여준다. 따라서 열처리전에 일축이방성이 유도된 경우 자장중 열처리에 의해 보다 큰 이방성이 유도됨을 알 수 있다.

Fig. 6은 열처리 전후의 이방성 자기장 변화를 보여준다. 이방성 자기장은 성막하는 동안과 열처리과정 동안 일축이방성을 유도하기 위하여 인가한 자기장 방향과 90° 각도에서 측정된 자기이력곡선에서 계산하였다. 전체적으로 기판온도가 증가할수록 이방성 자기장은 감소하였다. 200 °C에서 자장중 열처리 한 이후 전체적으로 이방성 자기장이 증가하였고 일축이방성이 증가하였다. 기판온도가 낮은 50 °C 이하에서 이방성 자기장이 50 °C 이상에서의 이방성 자기장보다 더 큰 값을 나타냈다. 이것은 기판온도가 증가할수록 결정립이 미세하게 성장하면서 결정자기 이방성이 증가하여 인가자기장에

의한 유도자기 이방성을 분산시킨 것으로 판단된다.

IV. 결 론

Rf magnetron sputtering 법을 이용하여 연자기적 성질을 나타내는 Mumetal 박막을 자기장하에서 기판온도를 변화시키면서 제작하고, 자장중 열처리를 수행하였다. 박막에 유도되는 자기이방성은 인가자기장 방향에서 30° 간격으로 180°까지 자기이력곡선을 측정하여 조사하였다.

열처리전에는 기판온도 50 °C 일 때 일축 이방성이 가장 잘 유도되었다. 기판온도가 증가할수록 용이축 방향의 보자력은 감소하였으나 일축이방성은 인가자기장 방향에서 벗어났다. 고진공 200 °C 분위기에서 한 시간 동안 자장중 열처리를 수행하면 기판온도에 무관하게 일축이방성이 향상되며 기판온도가 50 °C 이하일 때 큰 이방성 자기장을 나타냈다. 일축이방성은 열처리 전후 모두 50 °C에서 가장 잘 유도되었다.

감사의 글

본 연구는 고기능성 자성재료 연구센터(ReCAMM)에 의해 지원되었기에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Andrew S. Kao and Prakash Kasiraj, IEEE Trans. Magn., **27**(6), 4452(1991).
- [2] Hiroshi Funaki, Satoshi Okamoto, Osamu Kitakami and Yutaka Shimada, Jpn. J. Appl. Phys., **33**, L1304(1994).
- [3] M. Kitada and K. Yamamoto, J. Magn. Magn. Mater., **147**, 213(1995).
- [4] 김용성, 이경섭, 서수정, 박현순, 김기출, 송용진, 한국자기학회지, **6**(4), 242(1996).
- [5] 김기출, 이충선, 송용진, 한국자기학회지, **11**(4), 163(2001).
- [6] David Jiles, Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, 2nd Edition, Chapman & Hall, London (1998) p. 337.
- [7] T. Tanaka, T. Kobayashi, M. Takahashi and T. Wakiyama, IEEE Trans. Magn., **26**(5), 2418(1990).
- [8] B. Dieny, V. S. Speriosu, S. Metin, S. S. P. Parkin, B. A. Gruney, P. Baumgart and D. R. Wilhoit, J. Appl. Phys., **69**, 4774(1991).
- [9] W. J. Gallagher, S. S. P. Parkin, Yu Lu, X. P. Bian, A. Marley, K. P. Roche, R. A. Altman, S. A. Rishton, C. Jahnes, T. M. Shaw and Gang Xiao, J. Appl. Phys., **81**(8), 3741(1997).

Effect of the Growing Temperature on the Induced Anisotropy of Mumetal Thin Film

Young-woo Lee*, Cheol Gi Kim and Chong Oh Kim

Department of Materials Engineering, Chungnam National University 220 Gung-dong, Yousung-gu, Taejon, 305-764

(Received 8 April 2002, in final form 20 April 2002)

Soft magnetic Mumetal thin film was fabricated under magnetic field at various substrate temperatures. High vacuum annealing was carried out at 200 °C during 1 hr. The in-plane anisotropy of Mumetal thin film was determined from hysteresis loops measured by VSM when the sample axis varied from the field direction from 0° to 180°. As the substrate temperature increases, the coercivity in easy direction decreases, but uniaxial anisotropy deviates from the field direction. After vacuum annealing at 200 °C for 1 hr, the uniaxial anisotropy is improved irrespective of substrate temperature. When the substrate temperature was 50 °C, the anisotropy field is 4.3 Oe. As the substrate temperature increases anisotropy field decreases. Uniaxial anisotropy of Mumetal thin film was formed best at 50 °C before and after annealing.

Key words : mumetal, induced anisotropy, substrate temperature, annealing