

버블자성재료의 제조 및 자기 특성에 관한 연구

박 용 두 · 김 중 오
충남대학교 공과대학 재료공학과

A Study on the Fabrication Process and Magnetic Properties of Bubble Magnetic Materials.

Yong-Doo Park and Chong-Oh Kim.

Dept. of Material Engineering Chungnam National University, 305-764, Daejeon, Korea

초 록 Sm의 농도가 각각 0.3, 0.4, 0.6인 세종류인 $(YSmLuCa)_3(FeGe)_5O_{12}$ 가넷 박막을 LPE법으로 비자성재료인 $Gd_3Ga_5O_{12}$ (GGG)기판상에 성장시켜, 버블 자성재료의 자기적 성질을 조사하였다. 공명폭 ΔH 는 $4\pi Ms$ 의 증가에 따라 증가하였고 Sm 농도의 감소에 따라 감소한다. 수직 자기 이방성 에너지 K_u 는 Sm 증가에 따라 증가하며 같은 Sm 농도에서는 $4\pi Ms$ 의 증가에 따라 증가한다. 자벽 이동도는 $4\pi Ms$ 의 증가에 따라 증가하며 Sm의 증가에 따라 감소한다. $Ms \cdot \Delta H$ 의 곱이 일정한 사실로부터 새로운 자기손실인자 E_l 을 구할 수 있으며 이는 Sm의 농도에 의존한다.

Abstract Magnetic garnet films of $(YSmLuCa)_3(FeGe)_5O_{12}$ have been grown by the liquid phase epitaxy method on the substrate of non-magnetic garnet $Gd_3Ga_5O_{12}$. The variation of Sm ion concentration were varied 0.3, 0.4, 0.6, mole/formula unit respectively. The magnetic properties of the samples for the bubble magnetic materials, such as, line width ΔH of ferromagnetic resonance (FMR), magnetic saturation induction $4\pi Ms$, wall mobility μ_w , uniaxial magnetic anisotropy energy K_u , were measured and discussed the relations between these properties. The line width ΔH decreases with increasing $4\pi Ms$, and with decreasing Sm concentration. The anisotropy energy K_u increases not only with increasing Sm ion concentration, but also increasing $4\pi Ms$. The value of wall mobility μ_w increase with increasing $4\pi Ms$ and decreases with increasing Sm concentration. We define a physical constant E_l from the fact that the product of $4\pi Ms$ and ΔH is constant with dimension of energy density. The E_l is dependent only on Sm concentration.

1. 서 론

자기기록 소자는 전자기기의 고성능화에 따라 고밀도화가 요구되고 있다. 이에 따라 Co-Cr계와 같은 수직자기 기록매체, Tb-Fe-Co계 및 Co-Pt계 광자기 기록매체 등 새로운 자기 기록 재료와 처리방식이 창안되고 있다. 그 중에서도 1967년 Bell연구소의 Bobeck에 의하여 창안된 자기 버블 기억소자는 전자식 기억소자로 비휘발성의 특징을 가지고 있어 기존의 기억장치와는 달리 구동용의 모터와 같은 기계적 부품을 포함하지 않으므로 고장의 위험이 거의 없어, 환경적인 악조건 하에서나, 고신뢰도를 요구하는 분야에서 그 응용범위를

확대하여 나가고 있다^{1~3)}. 현재 대표적인 응용분야는 전자교환기, 공작기계, 공장자동화, 항공우주 분야인데, 앞으로 더 많은 분야에 응용될 것으로 전망된다. 이와같이 중요한 자기 버블 기록소자에 대한 연구는 일본, 미국, 유럽의 선진국에서는 20여년 이상 꾸준히 진행하여 자기 버블 자성재료의 제조 및 자기적 특성에 관하여 많은 업적을 쌓았다. 최초의 버블 재료는 Orthoferrite 단결정 박편을 사용하였으나, 기억밀도가 적어 비자성 가넷 기판 위에 자기 가넷 박막을 성장시킨 자성 가넷 단결정으로 대체되어 현재 약 4Mbit 칩이 만들어져 있다. 최근에는 한층 기억밀도를 높이기 위하여 버블 자구 자체를 기억단위로 하지

않고 버블 자구의 자벽에 존재하는 수직 블록호 자선(Vertical Bloch Line : VBL)쌍을 기억 단위로 하는 방법이 개발되어 한층 기억밀도를 높이게 되었으며, 궁극적으로는 1Gbit/cm²의 기억밀도에 도달할 것으로 기대되고 있다^{4~6)}.

수직 자화막으로서 원통형 자구를 갖는 자성 박막이 자기 버블재료인데, 이 박막은 수직자기 이방성 자계 H_k가 반자계 보다 커야 하므로 $Q = Ku/2\pi Ms \geq 1$ 의 조건이 만족되어야 한다. 즉, Q가 커야 하는데 이는 Ms가 적고 Ku가 큰 재료가 요구된다. 또한 버블 자구의 직경 d가 작을 수록 기억밀도를 높일 수 있는데, $d \propto 1/4\pi Ms$ 의 관계가 있으므로 Ms가 될수록 작을 것이 요구되므로 Ms를 작게 하기 위하여 Iron Garnet(R₃Fe₅O₁₂)에서 Fe³⁺이온의 일부를 비자성 이온으로 치환하는 방법이 이용되고 있다^{7~9)}.

한편, 수직 블록호 자선쌍을 기억단위로 하여 정보를 기억하고 재생하는 방법에 관한 연구도 진행되어 여러가지 방식이 제안되고 있는데, 이때 처리속도와 신뢰성이 문제가 되고 있다. 이것은 버블 자구의 이동속도 및 제반 환경(온도, 습도, 충격 등)에 대한 자기적 안정성에 따르게 된다. 그러므로 고밀도와 동시에 고이동도 및 안정성을 갖는 자기 버블 소자 재료의 개발이 가장 중요한 문제가 된다^{10~11)}.

따라서, 본 연구에서는 이와 같은 자기 버블 소자 재료의 개발을 목적으로 Gd₃Ga₅O₁₂ (GGG)기판상에 Iron Garnet(R₃Fe₅O₁₂)를 모체로 하는 (YSmLuCa)₃(FeGe)₅O₁₂를 LPE법으로 제작하여 Sm의 조성 변화에 따른 버블 자구의 형상, 포화자화, 자기이방성 에너지, 자구 이동도등을 조사한다.

2. 실험 방법

본 실험에선 버블 자성 가넷트 제작 방법중에서 일반적으로 쓰이고 있는 액상 성장법(Liquid Phase Epitaxy : LPE)으로 (YSmLuCa)₃(FeGe)₅O₁₂자성 가넷트 박막을 비자성가넷트인 GGG기판상에 성장 제조하였다. Fig 1은 시료인 자성 가넷트 박막 제조에 사용한 결정 성장로의 개략도이다. 결정 성장로의 내경은 10cm이고 열선은 실리코 넷트를 사용하였으며 상부(예열영역)와 하부(성장영역)로 분리

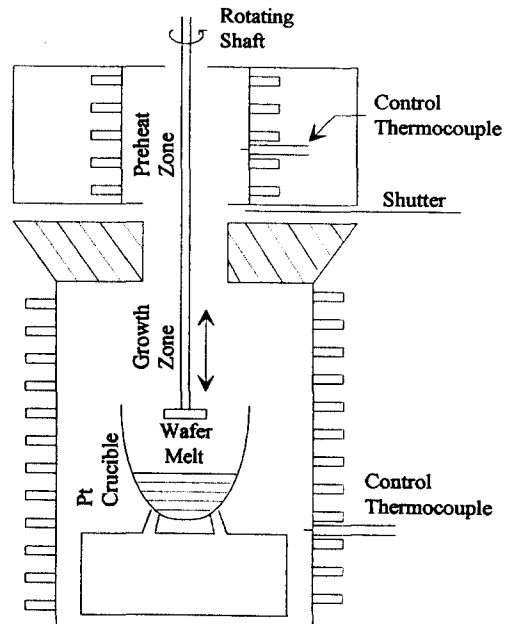


Fig. 1. The Schematic diagram of vertical electric furnace.

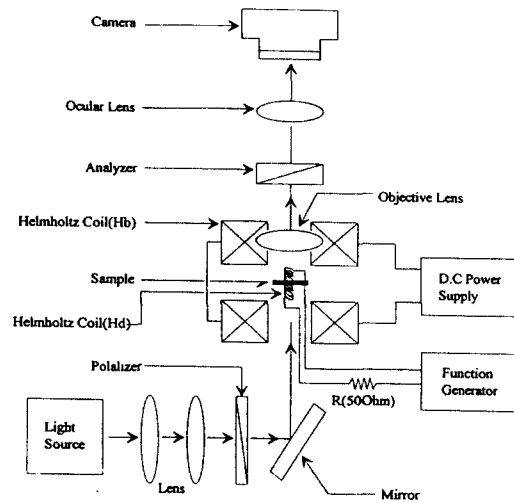


Fig. 2. The domain measurement equipment used magneto-optic Faraday effect.

시켜 열충격으로 부터의 기판을 보호하고, PbO Vapor의 오염을 방지하도록 하였다. 도가니는 용탕과의 반응을 방지하기 위하여 백금 도가니를 사용하였다. 기판은 Chochralski법으로 성장시킨 Gd₃Ga₅O₁₂(GGG)비자성 결정 Boule을 슬라이스한 후 연마하여 사용하였다.

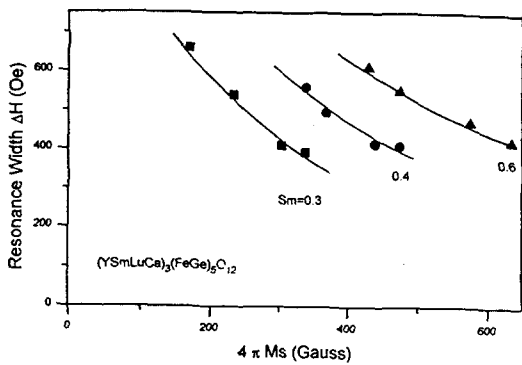


Fig. 3. Relation between resonance width ΔH and saturation induction $4\pi Ms$ ($Sm = 0.3, 0.4, 0.6$ mol/formula unit).

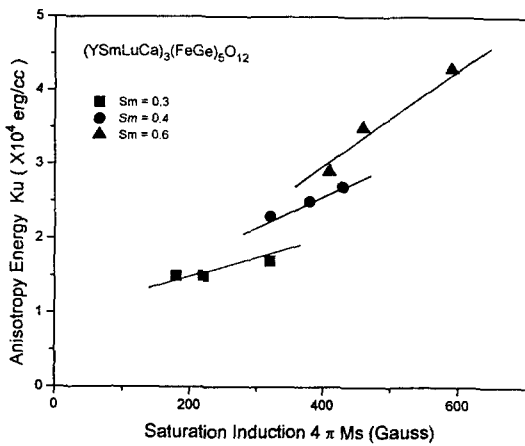


Fig. 4. Relation between anisotropy energy K_u and $4\pi Ms$.

기판에 붙어 있는 오염물질을 제거하기 위하여 기판을 묶은 황산 용액에 넣어 초음파 처리 후 증류수로 처리하였다. 시료의 조성이 되는 산화철을 비롯한 각종 희토류 산화물과 flux인 PbO, B_2O_3 를 물비로 계산한 후 질량으로 환산한 후 평량하여 도가니에 장입하였다. 사용한 원료 산화물들의 순도는 99.95% 이상의 순도를 사용하였다. 용탕의 균질화를 위하여 용융온도보다 높은 $1230^\circ C$ 로 용융하여 장시간 유지하였다.

세척된 기판은 백금 홀더에 부착한 후 예열 영역에서 서서히 가열한 후 용탕이 과냉각 온도가 될 때까지 기다린 후 서서히 성장 영역으로 하강시킨다. 장시간 유지된 $1230^\circ C$ 의 용탕은 $950^\circ C$ 까지 교반하면서 냉각시켜 더욱

균질화한 후 다시 온도를 서서히 하강시켜 더욱 균질화한 후 다시 온도를 서서히 하강시켜 과포화 온도($900^\circ C \sim 930^\circ C$)가 되었을 때, 온도를 그대로 유지하여 도가니 내의 온도가 안정되도록 한다. 예열되어 있는 기판을 용탕에 담구어 60rpm으로 수 분간 회전시켜 결정을 성장시킨 후 용탕에서 뽑아 내고 flux를 제거하였다. 결정이 성장된 기판은 열충격에 의한 결함을 방지하기 위하여 노내에서 서냉시킨 후 사용하였다.

Fig 2와 같은 Faraday magneto-optic effect를 이용한 자구관찰 장치를 사용하여 시료의 버블 자구의 형상과 크기, 시료의 결정성 및 자벽 이동도를 조사하였다. 포화자속밀도 $4\pi Ms$ 와 수직 자기 이방성에너지 K_u 는 시료진동 자속계(VSM)를 이용하였으며, 박막 두께는 간섭계를 이용하여 측정하였다. 공명폭 ΔH 는 전자 스핀 공명 스펙트로미터를 이용한 FMR을 사용하여 실온에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

자벽 이동도 μ_w 는 자기 이방에너지 K_u , 공명폭 ΔH , 자벽두께 δ_w 와 관련이 있으므로 이들 사이의 관계를 고찰한다. Fig 3은 공명폭 ΔH 와 포화자속밀도 $4\pi Ms$ 와의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 같은 Sm의 조성을 갖는 시료라 하더라도 각자 다른 $4\pi Ms$ 와 ΔH 를 갖고 있으며, 차후 고찰될 다른 자기적 성질에도 이와 같은 현상이 있다. 이는 성장조건에 따른 제작된 시료들의 실조성의 미소한 차이와 박막두께의 차이에 기인하는 것이다. ΔH 는 $4\pi Ms$ 의 증가에 따라 감소하며, 동시에 Sm의 감소에 따라 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 Sm이온의 증가는 감쇄를 증가시키고, 이로부터 ΔH 가 커지기 때문이다.

Fig 4는 각 Sm농도에 따른 K_u 와 $4\pi Ms$ 의 관계를 나타내고 있다. 이방성에너지 K_u 는 Sm이온의 증가에 의해 증가할 뿐만 아니라, 같은 Sm의 조성일 때는 $4\pi Ms$ 의 증가에 따라 증가하고 있다. 이 결과는 K_u 의 원인이 Sm과 Fe이온의 협력적인 효과에 기인하는 것을 의미한다. K_u 의 원인으로서는 기판과 성장 박막과의 격자상수의 차이에서 오는 응력유도 이방성에너지로 생각할 수 있으나, 본 실험에서는

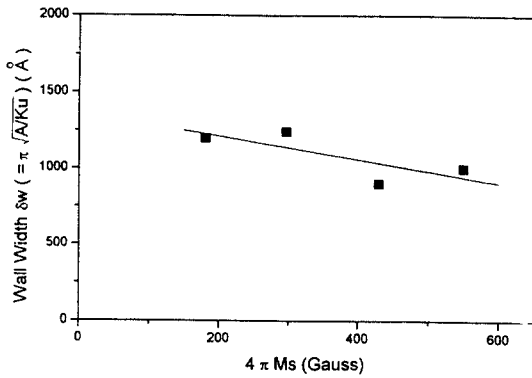


Fig. 5. Relation between domain wall width δw and $4\pi M_s$.

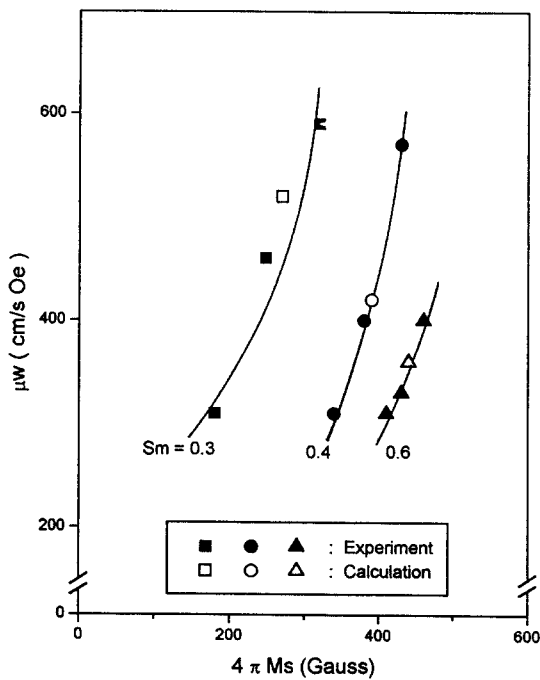


Fig. 6. Domain-wall mobility (μ_w) as a function of $4\pi M_s$.

격자상수의 차이가 극히 적으므로 이는 무시할 수 있다.

Fig 5는 자벽두께 $\delta w = \pi(A/K_u)^{1/2}$ 와 $4\pi M_s$ 와의 관계를 나타내고 있다. A는 교환 결합 상수(Exchange stiffness constant)로서 특성장 l , 포화자속밀도 $4\pi M_s$ 및 K_u 로부터 계산된다. $4\pi M_s$ 의 증가에 따라 약간 감소하는 경향을 보이고 있다.

자벽이동도 μ_w 는 Fig 3과 fig 5의 결과

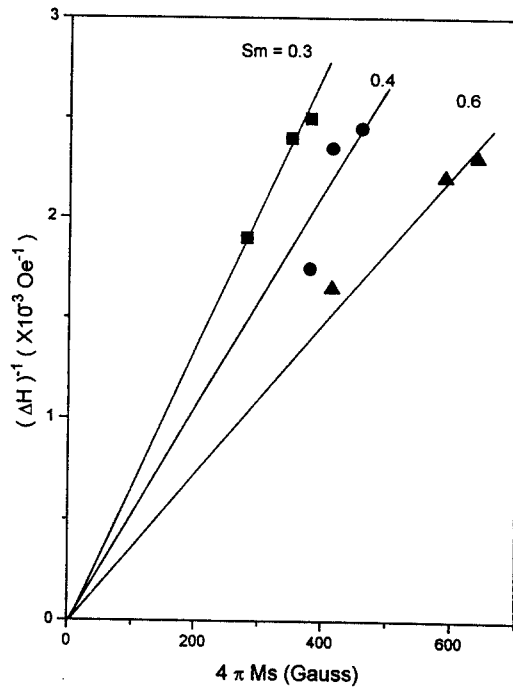


Fig. 7. Relation between the inverse of ΔH and $4\pi M_s$.

를 이용하여 다음과 같은 식으로부터 계산할 수 있다.

$$\mu_w = (\gamma/\alpha)(A/K_u)^{1/2} \quad (1)$$

$$\gamma/\alpha = \Delta H/w \quad (2)$$

여기서 w 는 공명각주파수이다.

Fig 6은 μ_w 의 계산된 값과 측정값을 포화자속밀도 $4\pi M_s$ 의 변화에 따라 나타낸 것이다. μ_w 의 실험치와 이론치가 잘 일치하고 있다. 따라서 FMR의 결과로부터 자벽이동도를 평가할 수 있음을 알 수 있다. 또한 μ_w 는 $4\pi M_s$ 의 증가에 따라 증가하며, Sm의 증가에 따라서는 감소하고 있다. 이 결과는 처리속도가 빠른 버블 자성재료 설계에 유용하게 사용될 수 있다.

Fig 3으로부터 ΔH 대신 ΔH 의 역수를 취하면 Fig 7과 같은 $(\Delta H)^{-1}$ 과 $4\pi M_s$ 의 관계를 구할 수 있다. Sm의 조성이 같은 시료들의 $(\Delta H)^{-1}$ 과 $4\pi M_s$ 와 ΔH 의 곱은 일정함을 알 수 있다. 이 곱을 E/로 놓으면

$$E/ = M_s \Delta H \quad (3)$$

이 되며, E/은 에너지 밀도로 표시되는 물

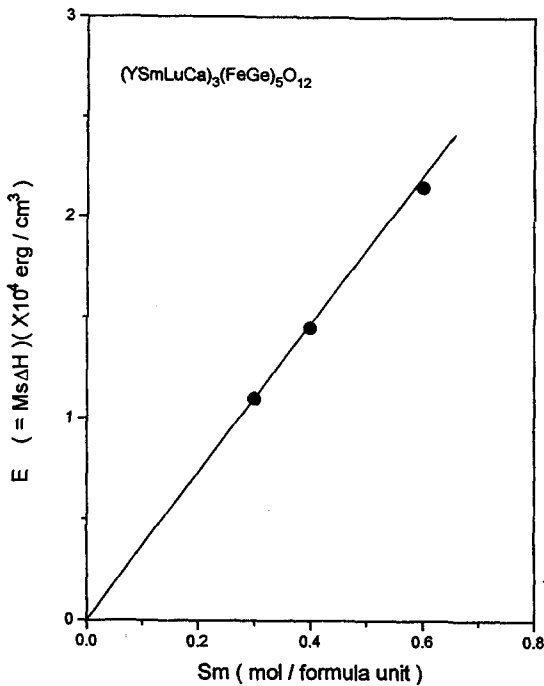


Fig. 8. Magnetic loss parameter E as a function of Sm concentration.

리적인 상수(Magnetic Loss Parameter)이다.

Fig 8은 Sm농도와 E사이의 관계를 보이고 있다. E/은 Sm농도에 비례하고 있으며, 비례 상수는 그림으로부터 대략 3.3×10^4 (erg/cm² mol)이 된다. 또한 E/값이 원점을 통과하므로 E/은 전적으로 Sm의 농도에 의존하는 양임을 알 수 있다.

4. 결 론

Sm의 농도가 각각 0.3, 0.4, 0.6인 (YSmLuCa)₃(FeGe)₅O₁₂가넷트 박막을 LPE법으로 성장시켜, 버블 자성 재료로서의 자기적 특성을 조사하여 다음과 같은 결론은 얻었다.

1) 공명폭 ΔH는 포화자속밀도 4πMs의 증가에 따라 증가하며 동시에 Sm농도의 감소에 따라 감소한다.

2) 수직 자기 이방성 에너지 Ku는 Sm농도

의 증가에 따라 증가하며, 같은 조성에서는 4πMs의 증가에 따라 증가한다.

3) 자벽이동도 μ_w는 4πMs의 증가에 따라 증가하며 Sm농도의 증가에 따라 감소한다. 또한 ΔH로부터 구해진 μ_w와 실험치가 일치하므로 FMR의 결과로 μ_w를 평가할 수 있다.

4) Ms ΔH의 곱이 일정한 사실로부터, 새로운 물리상수 Magnetic Loss Parameter E/을 구할 수 있었으며 이 값은 단지 Sm농도에 의존하였다.

감 사

본 연구는 1994년도 교육부 신소재 분야 연구지원(Ministry of Education Research Fund for Advanced Materials in 1994)에 의해 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. A.H. Bobeck, Bell Sys. Tech. J. 46, 1901 (1967)
2. A.H. Eschenfelder, Magnetic bubble technology, Springer Verlag, 1980
3. 人反田, 布谷, 日本應用磁氣學會誌, 15, 237(1981)
4. H. Asada, et al, IEEE Trans. Magn., MAG-23 2326(1987)
5. T.Suzuki, et al, IEEE Trans. Magn., MAG-22, 784(1986)
6. S.L. Blank, et al, J. Electrochem. Soc. 123, 856(1975)
7. R.C. Lecraw, et al, Appl. phys. letters 7, 402(1973)
8. A.H. Bobbeck, et al, Proc. IEEE 63, 1176 (1975)
9. K. Matsuyama, et al, IEEE Trans, Magn., MAG-25, 4248(1989)
10. A. Thiaville, et al, J. Appl. phys. 63, 3153 (1988)
11. N. Ohta, et al. IEEE Trans. Magn., MAG-16, 610(1980).