

마이크로파 소자용 에피택시 YIG막의 성장과 특성

김덕실 · 조재경

경상대학교 전자재료공학과, 항공기부품기술연구소,
경남 진주시 가좌동 900

(1998년 10월 26일 받음, 1999년 1월 10일 최종수정본 받음)

막후 4~80 μm 의 YIG($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$)막을 GGG($\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$) 기판 상에 수 종류의 화학조성이 서로 다른 Melt를 사용하여 성장 온도를 변화시키며 LPE(Liquid Phase Epitaxy)법으로 에피택시 성장시켰다. 제조한 막의 성장속도, 표면 형상, 화학 조성, 격자상수, 포화 자화, 자기공명특성을 조사했다. 기판과 막간의 격자상수의 mismatch Δa , 포화자화 그리고 자기공명흡수반치폭 ΔH 는 파냉각온도 ΔT 가 증가함에 따라 각각 증가, 감소 및 증가하는 경향을 보였다. 또한, R_1 값이 크고 R_3 값이 작은 Melt를 사용한 경우, 동일한 ΔT 값에서의 ΔH 가 작았다. ΔH 를 증가시키는 주된 요인은 Δa 의 증가이었고, 그 이유로는 Δa 가 증가하면 막후 방향으로의 응력 분포가 불균일해져 막 내부의 자장이 불균일해지기 때문으로 생각된다. 따라서, 마이크로파 손실이 작은 양질의 마이크로파 소자용 YIG 막을 제조하기 위해서는 R_1 값이 크고 R_3 값이 작은 Melt를 사용하여 ΔT 가 작은 영역에서 막을 성장시켜 Δa 를 작게해야만 한다.

I. 서 론

화학식 $\{\text{Y}_3^{3+}\}[\text{Fe}_2^{3+}](\text{Fe}_3^{3+})\text{O}_{12}$ 로 나타내어지는 YIG (Yttrium Iron Garnet)는 가넷 구조를 가지며 공간군 I_{43d} 에 속하는 입방정으로, 산소 12면체 자리 { }에 Y^{3+} 이온을, 산소 8면체 자리 [] 및 4면체 자리 ()에 Fe^{3+} 이온을 갖는다[1]. 이와 같이, YIG는 양이온 자리가 모두 채워져 있으며, 이온들의 배치가 공간적으로 비교적 균일하고, 자성이온이 Fe 3가 이온만으로 이루어져 있으며, 결정자기이방성이 작기 때문에, 알려진 마이크로파 재료중 자기공명손실(또는 자기공명선폭)이 가장 작은 재료이다[1]. 따라서, 자기손실이 작은 재료가 요구되는, isolator, circulator, oscillator 등의 마이크로파 통신용 소자에는 YIG가 주로 사용되어 왔다.

YIG는 비조화 용융을 하기 때문에 초크랄스키법을 이용하여 대형 단결정피를 성장시킬 수 없고[1], flux 법이나 floating zone법으로 단결정을 제조하는 것은 양산성에 문제가 있으므로, 세라믹법으로 제조한 소결체 YIG가 마이크로파 통신용 소자에 사용되어 왔으나, 소자의 고성능화, 소형화 및 집적화를 위해 단결정 YIG 후막의 사용이 기대되고 있다. 단결정 YIG 후막은 주로 LPE(Liquid Phase Epitaxy)법으로 제조되는데, LPE법은 flux법을 개량한 것으로, 초크랄스키법으로 성장시킨 비자성 가넷(주로, GGG(Gdolinium Gallium Garnet), $\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$)피를 절단 연마하여 기판으로 사용

하고, flux와 YIG 원료의 용융액속에 이 기판을 담궈, seed 역할을 하는 기판 위에 YIG막을 성장시키는 방법이다[1]. 종래의 버블 메모리등의 연구 결과에 의하면, LPE법을 이용하여 주의 깊게 성장시킨 YIG막은 전위 밀도가 수개/cm²로 매우 낮아 결정성이 매우 양호한 것이 알려져 있다[1].

마이크로파 통신용 소자에 YIG막을 사용할 경우, 요구되는 막후는 통상 20~100 μm 이며, 이 중 자기공명을 이용한 소자의 경우에는 마이크로파 자기공명선폭, ΔH 로 평가되는 자기공명손실이 작을수록 좋고, 포화자화 $4\pi M_s$ 와 이방성자장 H_A 는 사용되는 주파수에 따라 적정치로 제어할 필요가 있다[2]. 이러한 YIG막의 자기 및 마이크로파 특성은 성장조건과 밀접한 관계가 있으나, 성장조건과 제 특성과의 관계를 구체적으로 언급한 논문은 YIG막의 지난 30여 년간의 오랜 연구역사에 비해 극소수에 불과하다[2].

본 연구에서는 화학조성이 서로 다른 수 종류의 용융액을 이용하여, 성장온도를 달리하며 YIG막을 성장시킨 후, 성장조건에 따른 자기 및 마이크로파 특성, 특히 자기공명흡수선폭과의 관계를 조사했다.

II. 실험

LPE법을 이용하여 막후 4~80 μm 의 YIG막을 PbO-B₂O₃ 플렉스를 사용하여 Table I 같은 화학조성을 갖는

Table I. Chemical composition of melts used for YIG film growth. T_m and T_s denote melting and saturation temperatures of the melt, respectively

	Melt-1	Melt-2	Melt-3	Melt-4
R_1	14	14	13	20.1
R_3	15.6	15	12.5	6.5
R_4	0.06	0.06	0.07	0.11
T_m	880	880	946	960
T_s	855	855	888	895

용융액으로부터 (111) 배향 GGG($Gd_3Ga_5O_{12}$, 지름 : 1 inch) 기판위에 에피택시 성장시켰다. Table I에서 R_1, R_3, R_4 는 통상 YIG막 성장시 사용하는 파라미터로, 각각

$$R_1 = \frac{Fe_2O_3}{Y_2O_3}, \quad R_3 = \frac{PbO}{B_2O_3},$$

$$R_4 = \frac{Y_2O_3 + Fe_2O_3}{Y_2O_3 + Fe_2O_3 + B_2O_3 + PbO}$$

를 나타낸다. R_1 은 Fe_2O_3 와 Y_2O_3 의 비로, R_1 값을 적절히 선정하여야만 상평형도에서 가넷상이 안정하게 석출되는 영역에서 막을 성장시킬 수 있다. R_1 값이 크면 용융액으로 부터의 자발 핵생성이 억제되어, 용융액이 안정하다는 이점이 있으나, 가넷상의 석출량을 극대화하기 위해서는 R_1 값을 가능한 한 작게 해야 한다. YIG의 경우 통상 $14 \leq R_1 \leq 30$ 을 사용한다[1]. R_3 는 플럭스인 PbO 와 B_2O_3 의 비로, R_3 값이 크면 용융액의 점도가 증가하여 포화온도가 증가하고, 가넷상의 석출되는 영역이 좁아진다. R_4 는 투입원료 전체에 대한 용질의 비로, R_4 가 크면 포화온도가 증가하고, 가넷상의 석출속도가 증가한다[1].

본 실험에서 사용한 Melt-1과 2는 R_1 과 R_4 값은 동일하고 Melt-2의 R_3 값만을 Melt-1에 비해 약간 감소시킨 것이고, Melt-3의 경우에는 Melt-1과 비교할 때 R_1 과 R_4 값은 거의 동일하고 R_3 값을 상당히 감소시킨 것이고, Melt-4의 경우는 R_1, R_3, R_4 값을 각각 대폭 증가, 감소, 증가시켰다. 또한, Melt-3과 4는 용융온도(T_m)와 포화온도(T_s)가 상대적으로 높다는 점이 Melt-1과 2와 구별된다. 각 Melt의 포화온도는 기판을 용융액에 담구고 일정시간 유지시켰을 때 막 성장이 일어나지 않는 최고 온도로 설정했다. 이와 같은 Melt들을 이용하고, 3 zone 전기로를 사용하여, 막 성장부의 온도 정밀도를 $\pm 1^\circ C$ 로 유지시키면서, 약 10~60분 동안 막을 성장시켰다. 도가니로는 백금 도가니를 사용하였으며, 막 성

장시 용융액을 기판상에 균일하게 공급하기 위하여, 기판을 100 rpm으로 회전시켰고, 2초 주기로 회전 방향을 반전시키며 막을 성장시켰다. Melt-1과 2의 경우에는 막 성장온도(T_g)가 850 °C, 830 °C, 800 °C이었고, Melt-3의 경우에는 880 °C, 870 °C, 850 °C이었고, Melt-4의 경우에는 880 °C, 850 °C, 830 °C이었다. 이것을 막 성장시의 용융액의 과냉각 정도를 나타내는 $\Delta T = T_s - T_g$ 로 정의한 과냉각 온도(ΔT)로 나타내면, Melt-1과 2의 경우에는 $\Delta T = 5^\circ C, 25^\circ C, 55^\circ C$ 에서, Melt-3의 경우에는 $\Delta T = 8^\circ C, 18^\circ C, 38^\circ C$ 에서, Melt-4의 경우에는 $\Delta T = 15^\circ C, 45^\circ C, 65^\circ C$ 에서 막을 성장시킨 결과가 된다.

성장시킨 YIG의 표면을 화학적으로 약 1 μm 에칭한 후, 막후, 화학조성, 격자상수, 자기히스테리시스를 각각 micrometer, EDX(energy dispersive x-ray spectrometer), XRD(x-ray diffractometer, $Cu K\alpha$), VSM(vibrating sample magnetometer, 인가자장: 20 kOe)을 이용하여 조사했다. 자기공명특성은 EPR(electron paramagnetic resonance) 장치를 사용하여 9.2 GHz에서 막면에 평행하게 자장을 인가하여 자장의 세기를 변화시키면서 조사했다.

III. 결과 및 고찰

3.1 막 성장 속도 및 표면 형상

Fig. 1에 과냉각 온도(ΔT)에 따른 YIG막의 성장 속도를 나타냈다. 그림에서와 같이, ΔT 가 증가함에 따라 막 성장 속도는 Melt-1의 경우 직선적으로 증가하였으나, Melt-2, 3, 4의 경우에는 증가하다가 둔화되는 경향

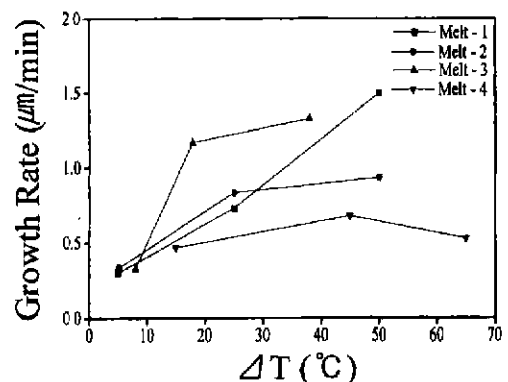


Fig. 1. Growth rate of YIG films as a function of undercooling temperature ΔT .

을 보였다. 그림으로는 나타내지 않았지만, 막 성장 온도를 일정하게 하고, 성장 시간을 변화시키면서 막을 성장시켰을 경우에는 막후는 성장 시간에 비례하여 거의 직선적으로 증가했다. 성장된 박막들을 육안으로 관찰한 결과 막후 수 μm 의 얇은 막의 경우에는 YIG 고유의 연록색을 띄었고 막후가 증가함에 따라 색깔이 짙어져 검은 색을 띄었다. SEM(scanning electron microscopy)으로 YIG 막의 표면을 관찰한 결과, 표면 결함은 관찰되지 않았다.

3.2 화학 조성

EDX 원소분석 결과 Melt-1을 사용하고 $\Delta T = 55^\circ\text{C}$ 에서 성장한 막의 경우에는 플럭스인 Pb가 막중에 혼입된 것이 확인되었으나, 그 외의 시료에서는 Pb 등의 불순물은 검출되지 않았다. 막의 화학조성은 Melt-1을 사용하고 $\Delta T = 55^\circ\text{C}$ 에서 성장한 막의 경우에는 Y/Fe비가 약 0.52로 YIG($\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$)의 화학량론 조성비(0.6)에서 벗어난 반면, 그 외의 시료들이 경우의 Y/Fe비는 막후에 관계없이 약 0.6으로 화학량론 조성에 가까운 막이 얻어진 것을 알 수 있었다. 그림으로는 나타내지 않았지만, 막 성장 온도를 일정하게 하고, 성장 시간을 변화시키면서 막을 성장시킨 후 화학조성을 분석해 본 결과 화학조성은 막후에 관계없이 일정한 값을 나타냈다.

3.3 결정성 및 격자상수

제조한 막의 전형적인 XRD 다이어그램을 Fig. 2에 나타냈다. 기판의(444)라인과 막의(444)라인이 겹치는 것으로부터 막이 기판상에 에피택시 성장한 것으로 판단된다. 또한, $K\alpha_1$ 과 $K\alpha_2$ 라인이 선명하게 분리된 것으로부터 양호한 결정성을 갖는 막이 성장된 것을 확

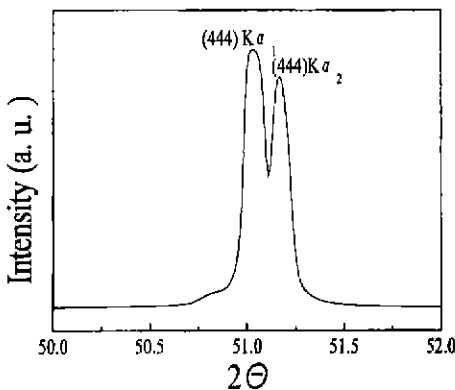


Fig. 2. Typical XRD diagram of the YIG film.

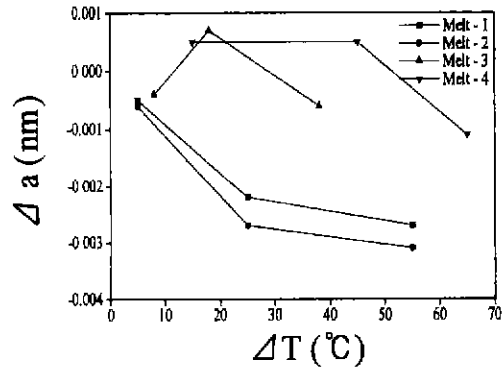


Fig. 3. Lattice mismatch Δa between substrate and film as a function of undercooling temperature ΔT .

인 할 수 있었다. (444)라인이외의 불순물에 의한 라인은 관찰되지 않았으므로 단일상의 YIG 막이 얻어진 것으로 판단된다. 이와 같은 XRD 다이어그램으로부터, 각 Melt에 대해, 서로 다른 ΔT 에서 성장시킨 막들의 격자상수를 계산하여, 기판의 격자상수(1.2383 nm)와 막의 격자상수의 차 Δa 의 ΔT 의존성을 Fig. 3에 나타냈다. Melt-1과 2로부터 성장시킨 막들은 ΔT 가 증가할수록 Δa 가 음의 값을 가지며 증가하는 것으로부터, 막의 격자 상수가 기판의 격자 상수 보다 커서 막에 압축 응력이 작용하고, ΔT 가 증가함에 따라 압축 응력이 증가하는 것을 알 수 있다. Melt-3과 4를 이용하여 성장시킨 막들의 경우에는, ΔT 가 증가함에 따라 Δa 의 절대치는 증가하는 경향을 보였으나, Δa 의 부호가 바뀌는 것으로 보아, ΔT 에 따라 막에 압축 응력이 작용하는 경우와 인장 응력이 작용하는 경우가 있음을 알 수 있다. 또한, 저융점의 Melt-1과 2를 사용했을 경우 보다 고융점의 Melt-3과 4를 사용했을 경우가 Δa 가 상대적으로 작음을 알 수 있다. 그림으로는 나타내지 않았지만, 막 성장 온도를 일정하게 하고, 성장 시간을 변화시키면서 막을 성장시킨 후 격자상수를 조사해 본 결과 격자상수는 막후에 관계없이 일정한 값을 나타냈다.

3.4 자기 특성

VSM으로 막의 자기히스테리시스 루우프를 측정된 결과 제조한 막은 모두 자화용이축이 막면에 평행인 연자성 특성을 나타냈다. 대표적인 자기 히스테리시스 루우프를 Fig. 4에 나타냈다. 자기 히스테리시스로부터 계산한 막의 포화자화 $4\pi M_s$ 의 ΔT 의존성을 Fig. 5에 나타냈다. Melt-1과 2를 사용하여 성장시킨 막의 경우에는 ΔT 가 증가함에 따라 포화자화는 급격히 감소하

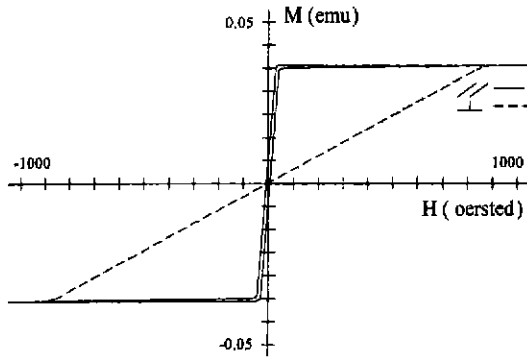


Fig. 4. Typical magnetic hysteresis loops of YIG film. (//) and (⊥) denote the loops traced by applying magnetic field parallel and perpendicular to the film surface.

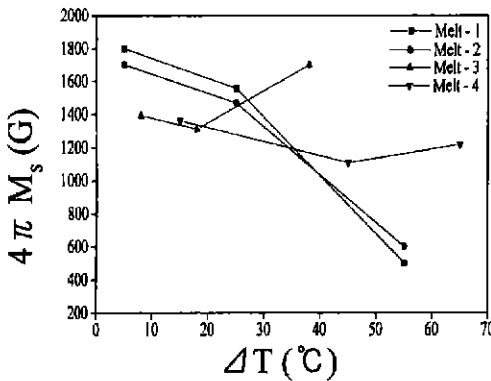


Fig. 5. Saturation magnetization $4\pi M_s$ of the YIG films as a function of undercooling temperature ΔT .

였으나, Melt-3과 4로부터 성장시킨 막의 경우에는 ΔT 가 증가함에 따라 포화자화는 감소했다가 다시 증가하는 경향을 보였다. 그림으로는 나타나지 않았지만, 막 성장 온도를 일정하게 하고, 성장 시간을 변화시키면서 막을 성장시킨 후 포화자화를 조사해 본 결과 포화자화는 막후에 관계없이 일정한 값을 나타냈다.

3.5 마이크로파 특성

EPR로 측정된 미분형 자기공명 흡수 다이어그램을 Fig. 6, 7, 8, 9에 나타냈다. 막후 의존성을 배제하기 위해서 막후 30 μm 전후의 막들을 선별하여 EPR 시료로 사용했다. Fig. 6은 Melt-1을 사용하여 ΔT 를 변화시키면서 성장시킨 막들에 대한 EPR 다이어그램을 나타낸다. 그림에서 보듯이, $\Delta T=55^\circ\text{C}$ 일 경우에는 미분형 공명 라인 앞에 강한 피크가 관찰되었다. 이것은 화학 조성 분석 결과에서도 언급한 것과 같이 막 중에 플럭스인 Pb가 혼입되고 격자 상수의 mismatch가 큰 결과

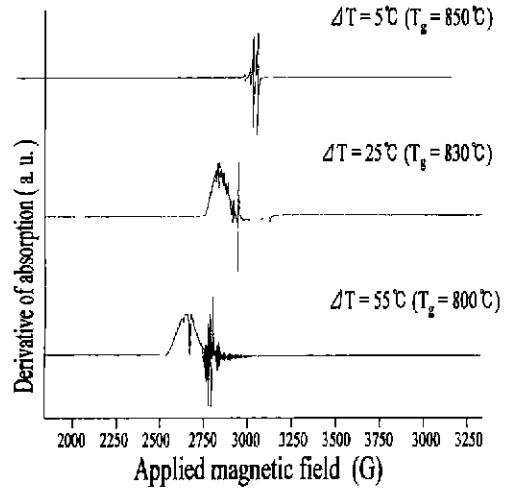


Fig. 6. EPR diagrams of YIG films grown at three different undercooling temperatures ΔT using Melt 1.

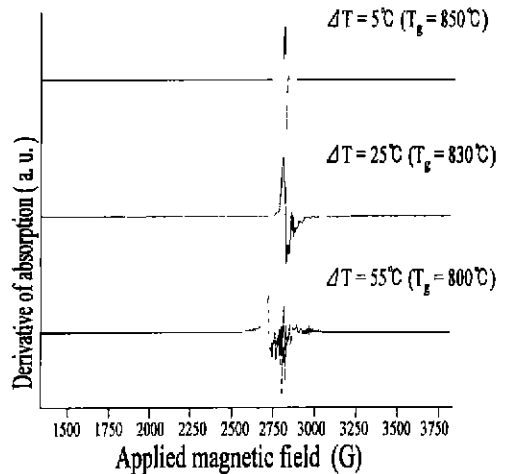


Fig. 7. EPR diagrams of YIG films grown at two different undercooling temperatures ΔT using Melt 2.

(Fig. 3) 막 내부에 결함 또는 불균일한 응력이 발생하여 시료가 자기적으로 불균일하기 때문으로 생각된다. $\Delta T=25^\circ\text{C}$ 의 경우에도 유사한 피크가 관찰되었다. 이 시료의 경우에는 화학 조성 분석 결과 Pb는 검출되지 않았으나, 역시 격자 상수의 mismatch가 크므로 내부 결함 또는 불균일한 응력이 발생하여 시료가 자기적으로 불균일하기 때문으로 생각된다. $\Delta T=5^\circ\text{C}$ 의 경우에는 상기와 같은 이상 피크는 관찰되지 않았으며, 단지 공명 자장이 서로 다른 수 개의 공명 라인들만이 관찰되어, 시료가 상대적으로 균일함을 알 수 있다.

Fig. 7은 Melt-2를 사용하고 ΔT 를 변화시키면서 성

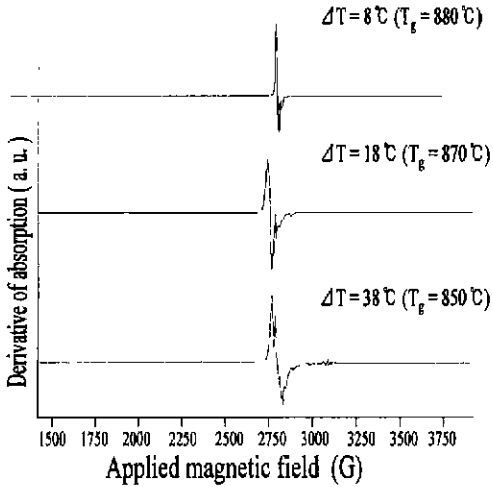


Fig. 8. EPR diagrams of YIG films grown at three different undercooling temperatures ΔT using Melt 3.

장시킨 막들에 대한 EPR 다이어그램을 나타낸다. $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ 와 55°C 의 경우에는, Melt-1의 경우와 같은 이상 피크는 관찰되지 않았으나, 다수의 불규칙한 미분형 공명 라인들이 관찰되는 것으로부터, 시료가 자기적으로 불균일하다는 것을 알 수 있다. $\Delta T = 5^\circ\text{C}$ 의 경우에는 비교적 단순한 형상의 미분형 공명 라인만이 얻어져, ΔT 가 감소함에 따라 시료가 자기적으로 균일해 지는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 Melt-3를 이용하여 ΔT 를 변화시키면서 성장시킨 막들에 대한 EPR 다이어그램을 나타낸다. 그림에

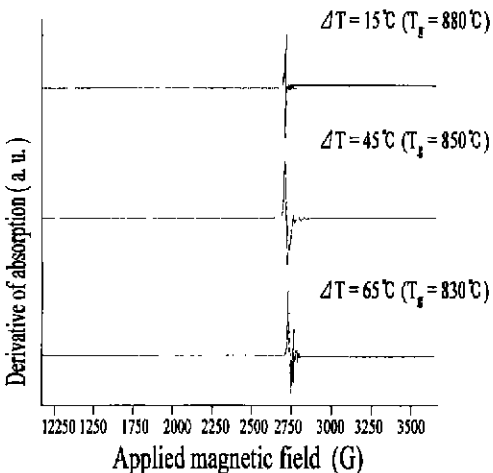


Fig. 9. EPR diagrams of YIG films grown at three different undercooling temperatures ΔT using Melt 4.

서 보듯이, Melt-3를 사용한 경우는, Melt-1과 2를 사용했을 때 보다 상대적으로 미분형 공명 라인의 모양이 단순한 것으로부터, 시료의 자기적인 균일성이 상대적으로 양호한 것을 알 수 있다. 그러나, 이 경우에도, $\Delta T = 38^\circ\text{C}$ 및 18°C 의 경우에는 수 개의 공명 라인들이 관찰되고 미분형 공명 피크간의 거리가 큰 것으로부터 시료에 의한 마이크로파 손실이 큰 것을 알 수 있다. $\Delta T = 8^\circ\text{C}$ 의 경우에는 예리한 주 공명 라인과 수 개의 약한 라인들만이 관찰되는 것으로부터, 시료에 의한 마이크로파 손실이 상대적으로 작음을 알 수 있다.

Fig. 9은 Melt-4를 사용하고 ΔT 를 변화시키면서 성장시킨 막들에 대한 EPR 다이어그램을 나타낸다. 그림에서 보듯이, Melt-1, 2, 3을 사용한 경우와 비교할 때, Melt-4를 사용한 경우가 공명 라인의 형상이 전반적으로 보다 예리함을 알 수 있다. 이 경우에도 ΔT 가 감소함에 따라, 공명 라인의 형상은 단순해지는 경향을 보였으며, $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ 의 경우에도 예리한 주 공명 라인과 수개의 약한 라인들만이 관찰되는 것으로부터, 시료에 의한 마이크로파 손실이 작음을 알 수 있다. 따라서, 마이크로파 손실이 작은 YIG막을 제조하기 위해서는 Melt-4와 같이 R_1 이 크고 R_2 가 작은 melt를 사용하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다.

이와 같은 EPR 다이어그램으로부터 구한 자기 공명 흡수 반치폭(ΔH , 주 미분형 피크간의 간격)의 ΔT 의존성을 Fig. 10에 나타냈다. ΔH 는 ΔT 가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며, $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ 이하에서는 ΔH 가 수 Oe의 마이크로파 손실이 작은 양호한 시료가 얻어짐을 알 수 있다.

Fig. 11은 ΔH 의 Δa (기판과 YIG막간의 격자상수차) 의존성을 나타낸다. 그림에서 보듯이, ΔH 는 기판

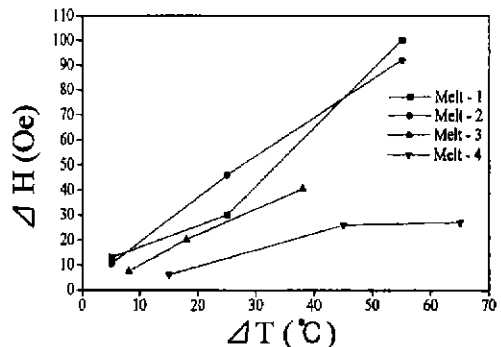


Fig. 10. Magnetic resonance line width ΔH as a function of undercooling temperature ΔT .

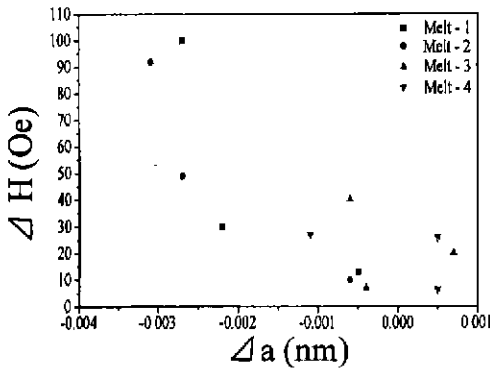


Fig. 11. A plot of magnetic resonance line width ΔH vs lattice mismatch Δa between substrate and film.

과 YIG막의 격자 상수 차가 작을수록 작아지는 상관 관계를 가짐을 알 수 있다.

일반적으로, 자성 물질이 물리적으로 또는 화학적으로 불균일하면 내부에 불균일한 국소 자장이 형성되어 자화의 세차 운동을 불균일하게 만들므로 ΔH 를 증대시키는 요인이 된다. 이러한 불균일한 내부 국소 자장을 발생시키는 주 원인으로는 시료의 표면 결함(표면에 이물질이나 피트(pit)가 있으면 불균일한 자장이 발생), 캐도 모멘트를 갖는 자성이온의 양이온 자리내에서의 불규칙 배치(불균일한 외쌍극자간력 및 스핀캐도상호작용이 발생), 국소적 응력 또는 자왜(응력이 불균일하면 자왜에 의해 불균일한 자장이 발생하거나 포논계에 의한 완화기구로 손실이 발생), 불순물 희토류 이온의 혼입(rapid 완화 현상에 의한 손실), 상자성 이온 또는 Fe^{2+} 이온의 존재(slow 완화 기구에 의한 손실)등이 있다[3].

본 실험에서 제조한 YIG 막들은 앞에서 언급했듯이 SEM 관찰 결과 표면 결함이 관찰되지 않는 유사한 표면 상태를 갖고, 화학조성 분석 결과 Melt-1을 사용하고 $\Delta T = 55^\circ C$ 에서 성장시킨 막을 제외하고는 불순물이 검출되지 않았으며, YIG의 경우 자성 이온으로 Fe^{3+} 이온 만을 가지므로 양이온 자리내의 불규칙 배열에 의한 영향을 받지 않으므로, 국소적 응력의 불균일이 ΔH 를 증가시키는 주된 요인으로 작용할 것으로 생각된다. 본 실험에서 자기공명용 시료로 사용한 YIG막의 막후가 약 $30 \mu m$ 이므로, Δa 가 크면 기판과 막의 경

계면에서는 큰 응력이 작용하나, 경계면에서 멀어져 막의 표면에 가까울 수록 결함등이 발생되면서 응력이 완화될 것이 예상되므로, Δa 가 큰 시료의 경우에는 막 후 방향으로의 응력 분포가 불균일 할 것으로 생각된다. 이것이, Fig. 11에서와 같이, Δa 가 증가함에 따라 ΔH 가 증가하는 이유라고 생각된다. 따라서, ΔH 가 작아 마이크로파 손실이 작은 YIG막을 얻기 위해서는 기판과 막과의 mismatch를 작게 해야 하며, 그 방법으로는 ΔT 가 작은 상태에서 막을 성장시켜야만 한다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

막후 $4\sim 80 \mu m$ 의 YIG막을 GGG 기판 상에 수 종류의 화학조성이 서로 다른 Melt를 사용하여 성장 온도를 변화시키며 LPE법으로 에피탁시 성장시켰다. 제조한 막의 성장속도, 표면 형상, 화학 조성, 격자상수, 포화 자화, 자기공명특성을 조사했다. 기판과 막간의 격자상수의 mismatch Δa , 포화자화 그리고 자기공명흡수 반치폭 ΔH 는 과냉각온도 ΔT 가 증가함에 따라 각각 증가, 감소 및 증가하는 경향을 보였다. 또한, R_1 값이 크고 R_2 값이 작은 Melt를 사용한 경우, 동일한 ΔT 값에서의 ΔH 가 작았다. ΔH 를 증가시키는 주된 요인은 Δa 의 증가이었고, 그 이유로는 Δa 의 증가하면 막후 방향으로의 응력 분포가 불균일해져 막 내부의 자장이 불균일해지기 때문으로 생각된다. 따라서, 마이크로파 손실이 작은 양질의 마이크로파 소자용 YIG 막을 제조하기 위해서는 R_1 값이 크고 R_2 값이 작은 Melt를 사용하여 ΔT 가 작은 영역에서 막을 성장시켜 Δa 를 작게해야만 한다.

참 고 문 헌

- [1] A. Paoletti, Physics of Garnet, North-Holland Publishing Co., Amsterdam (1978), pp. 1-8, 291-297, 521-539.
- [2] P. Roeschmann and W. Tolksdorf, Mat. Res. Bull., **18**, 449-459 (1983).
- [3] S. Tsikazumi, Handbook of Magnetic Materials, Asakura Shouten, Tokyo (1987), p. 159.

Growth and Characterization of Epitaxial YIG Films for Microwave Devices

Duksil Kim and Jaekyong Cho

Gyeongsang National University, ReCAPT, 900 Gazwa, Chinju, Gyeongnam

(Received 26 October 1998, in final form 10 January 1999)

YIG ($\text{Y}_2\text{Fe}_5\text{O}_{12}$) films with 4~80 μm thickness were epitaxially grown on GGG ($\text{Gd}_3\text{Ga}_5\text{O}_{12}$) substrates by LPE (liquid phase epitaxy) techniques. Using various melts having different chemical composition the growth temperature was varied as a parameter. Growth rate, surface morphology, chemical composition, lattice constant, saturation magnetization, and magnetic resonance of the films were investigated. Lattice mismatch between the substrate and film Δa , saturation magnetization, and magnetic resonance line width ΔH increased, decreased, and increased, respectively, as undercooling temperature ΔT increased. The films grown by using the melt with larger R_1 and smaller R_3 had smaller ΔH . The major origin of the increase of ΔH was the increase of Δa . It is considered that the magnetic field in the film became locally inhomogeneous with the increase of Δa due to the increase of inhomogeneity in stress distribution to the film depth direction. Therefore, in order to grow YIG films with small microwave loss it is necessary to grow films at small ΔT using the melt with large R_1 and small R_3 resulting in a small Δa .