

# 아이솔레이터용 YIG 페라이트의 제조공정 및 전자기적 특성

양승진, 윤종남\*, 김정식

서울시립대학교 신소재공학과, \*전자부품연구원

## (The Study on the Fabrication Process and the Electromagnetic Properties of YIG ferrites for Isolator)

Seung-Jin Yang, Jong-Nam Yoon\*, and Jung-Sik Kim

Department of Materials Science & Engineering, The University of Seoul, Seoul

\*Korea Electronic Technology Institute

### Abstract

본 연구에서는 Ca, In, V, Al을 첨가 원소로 사용한 YIG 페라이트 분말을 분무건조기로 준구형 과립으로 만들어 일반적인 세라믹 제조 공정 방법으로 다결정체를 제조하였고, 소결온도와 첨가원소의 조성비에 따른 YIG 페라이트의 기본물성과 전자기적 특성 변화를 조사하였다. 제조된 YIG 페라이트에 대한 기본 물성과 자기 특성을 밀도측정기, XRD, SEM, VSM, Network Analyzer 등을 이용하여 측정 분석하였다.  $Y_{2.1}Ca_{0.9}Fe_{4.4}V_{0.5}In_{0.05}Al_{0.05}O_{12}$  조성의 YIG 페라이트에 대한 전자기적 특성 측정 결과 1350°C에서 소결한 YIG 페라이트에서 우수한 삽입손실 값과 Isolation 값을 나타내었으며 이론밀도의 92%의 높은 밀도값을 가지며 높은 포화자화( $4\pi Ms$ ) 값을 지닌 우수한 전자기적 특성을 나타내었다.

### 1. Introduction

Yttrium Iron Garnet(YIG:  $Y_3Fe_5O_{12}$ )는 희토류철 가넷물질중에서 가장 대표적인 것으로, 마이크로파 영역에서 아이솔레이터/서클레이터 등의 비가역소자로서의 자성 재료나 레이더 등의 광자성 재료로서 널리 이용되고 있는 페리자성체이다.<sup>1)</sup>

가넷 페라이트의 결정구조는  $R_3Fe_5O_{12}$ 의 화학식으로 표시되며, R은 Y 또는 Gd 등의 희토류 원소이다. 가넷 페라이트는 1952년 C.L.Hogan<sup>2)</sup>이 10 GHz대에서의 자이로 자기공명을 발표하고, 1956년 Bertaut와 Forrat<sup>3)</sup>에 의해 가넷 자성재료가 발견된 이래 마이크로파 부품에 적용시키고자 많은 연구개발이 진행되었다. YIG는 마이크로파용 자성 재료중 손실이 가장 작은 재료로 YIG 단결정의 경우  $\Delta H$ 는 40 A/m( $\approx 0.5$  Oe)이다. 이처럼 자기 손실이 낮은 이유는 가넷 구조를 구성하는 모든 부결자점들이 양이온으로 채워져 있고, 이온의 배치가 공간적으로 비교적 균일하기 때문에 결정 자기 이방성이 작아져 자기모멘트가 이방성 에너지에 구속되지 않고 세차운동을 하기 때문에 자기손실이 작아지게 된다.

본 연구에서는 소결온도와 치환원소에 따른 아이솔레이터용 YIG 페라이트를 일반적인 세라믹 제조 공정 방법에 따라 제조하였고, 소결온도와 첨가원소의 조성비에 따른 YIG 페라이트의 물성과 전자기적 특성을 고찰하고자 하였다.

### 2. Experimental

$Y_2O_3$ (99.9%, Johnson Matthey Co.),  $Fe_2O_3$ (99.95%, Johnson Matthey Co.),  $CaCO_3$  (99%, Johnson Matthey Co.),  $V_2O_5$  (99.8% Johnson Matthey Co.),  $In_2O_3$  (99.9% Johnson Matthey Co.),  $Al_2O_3$ (99%, Junsei Chemical Co.)를 원료로 사용하여 일반적인 세라믹 공정에 따라 YIG 페라이트 시편을 제조하였다. 원료를 정확한 비율로 칭량한 후, 에탄올에 습식 혼합하여 24시간 동안 볼밀링 하였고, 1170°C에서 10시간 동안 하소시켰다. 하소된 YIG 분말을 준구형의 과립으로 만들기 위

하여 결합제(PVA+PEG)와 함께 증류수에 혼합하여 spray dry 용 slurry를 만들었고, nozzle atomizer type의 spray dryer(Buchi사 Mini Spray Dryer B-190)를 사용하여 약 5 ~ 20  $\mu\text{m}$  정도 크기의 준구형 과립 분말을 얻었다. 준구형 과립 분말을 원통형 몰드에 넣고 약 40 MPa의 압력을 가하여 직경 6 mm, 두께 약 0.5 mm의 디스크 형태로 성형하였고, 각각 1250°C에서 1370°C 온도범위에서 4시간 동안 소결하였다.

$\text{Y}_{1.6}\text{Ca}_{1.4}\text{Fe}_4\text{V}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{O}_{12}$  조성의 성형체를 각각 1250°C, 1275°C, 1300°C, 1325°C에서 4시간동안 소결하였으며,  $\text{Y}_{2.1}\text{Ca}_{0.9}\text{Fe}_{4.4}\text{V}_{0.5}\text{In}_{0.05}\text{Al}_{0.05}\text{O}_{12}$  조성의 성형체의 경우 1300°C, 1330°C, 1350°C, 1370°C에서 4시간동안 소결하였다. 소결시편은 아르키메데스법을 이용하여 부피 밀도를 구하였고, X-선 회절 분석(Zeifert 3000 diffractometer)을 통하여 결정상을 조사하였으며, 주사전자 현미경(JEOL JSM-5800)을 통하여 YIG 페라이트의 미세 구조를 관찰하였다. VSM을 이용하여 포화자화( $4\pi M_s$ )값을 측정하였고, Network Analyzer를 통하여 실제적으로 고주파영역에서의 삽입손실과 Isolation을 측정하였다.

### 3. Results and discussion

소결 온도에 따른  $\text{Y}_{1.6}\text{Ca}_{1.4}\text{Fe}_4\text{V}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{O}_{12}$  조성의 소결체의 밀도를 Fig. 1에 나타내었다. 소결 온도가 높아짐에 따라 밀도도 증가하여 1300°C에서 소결한 시편이  $4.34 \text{ g/cm}^3$ 을 나타내었다. 그러나 이는 이론 밀도( $5.17 \text{ g/cm}^3$ )의 84%로, 순수한 YIG에 비해 다소 낮은 밀도를 나타냈다. 1325°C 소결 시편은 1300°C 소결 시편보다 다소 낮은 밀도값을 나타내었다. SEM을 통하여 미세구조를 관찰한 결과를 Fig.2에 나타내었다.

Fig. 3에 소결 온도에 따른 포화 자화( $4\pi M_s$ )의 가넷에 대한 X-선 회절 결과를 나타내었다. X-선 회절 spectra로부터 각각의 온도에서 소결된 시편은 전형적인 YIG의 X-선 회절패턴과 잘 일치함을 알 수 있었으며, 온도변화에 따라 결정구조의 변화는 거의 없다. Fig. 4에 소결 온도에 따른 YIG의 포화 자화( $4\pi M_s$ ) 값과 보자력( $H_c$ ) 값을 나타내었다. 소결 온도가 상승함에 따라 보자력이 감소하고 포화 자화값은 증가하여 1300°C에서 667 Gauss를 나타내었다. 이는 소결 온도 증가에 따른 결정립의 성장 및 치밀화 증가에 따라 자화 기구중 자구 벽 이동이 용이하게 되어 보자력이 감소하고 포화 자화값이 증가하게 되는 것으로 생각된다. 1325°C 소결 시편은 포화 자화값이 625 Gauss로, 1300°C 소결 시편에 비해 약간 떨어지는 특성을 보였다.

소결온도에 따른  $\text{Y}_{2.1}\text{Ca}_{0.9}\text{Fe}_{4.4}\text{V}_{0.5}\text{In}_{0.05}\text{Al}_{0.05}\text{O}_{12}$  조성의 소결체의 밀도를 Fig. 5에 나타내었다. 각 소결 온도에 대해 비슷한 소결밀도를 나타내었으며, 1300°C 소결 시편의 경우  $4.78 \text{ g/cm}^3$ 로 이론밀도( $5.17 \text{ g/cm}^3$ )의 약 92.5%를 나타내었으며,  $\text{Y}_{1.6}\text{Ca}_{1.4}\text{Fe}_4\text{V}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{O}_{12}$  조성에 비해 치밀화가 크게 일어난 것을 알 수 있었다. Fig. 6에서는  $\text{Y}_{2.1}\text{Ca}_{0.9}\text{Fe}_{4.4}\text{V}_{0.5}\text{In}_{0.05}\text{Al}_{0.05}\text{O}_{12}$ 의 1350°C에서의 X-선 회절 spectra를 나타내었으며 전형적인 YIG의 X-선 회절 패턴과 일치함을 알 수 있었다.

Fig. 7에서는 소결온도에 따른  $\text{Y}_{2.1}\text{Ca}_{0.9}\text{Fe}_{4.4}\text{V}_{0.5}\text{In}_{0.05}\text{Al}_{0.05}\text{O}_{12}$  조성의 소결체의 포화 자화( $4\pi M_s$ ) 값과 보자력( $H_c$ ) 값을 나타내었다. 이 조성에서의 포화 자화( $4\pi M_s$ )값 역시  $\text{Y}_{1.6}\text{Ca}_{1.4}\text{Fe}_4\text{V}_{0.7}\text{In}_{0.3}\text{O}_{12}$  조성에 비해 높은 포화 자화 값과 낮은 보자력 값을 나타내었다. 소결밀도가 높아짐에 따라 치밀화가 진행되어 자구 벽 이동을 방해하고 내부자기소거효과(Internal demagnetizing effect)를 일으키는 기공등의 감소로 높은 자기적 특성을 나타내었다. Fig. 8은 실제로 사용되는 isolator와 동일한 조건으로 작동되도록 설계 제작된 테스트 지그와 Network Analyzer를 이용하여 측정된 삽입 손실 값과 isolation 값을 보여주고 있다. 1350°C에서 소결시편의 경우 가장 우수한 특성을 나타내었으며, 각각 0.62dB과 17.9dB의 삽입손실 값과 isolation 값을 나타내었다.

### 4. Conculsion

Ca, In, V, Al을 첨가원소로 하는 아이솔레이터용 YIG 페라이트를 제조하여 소결온도와 첨가원

소에 따른 기본 물성과 자기적 특성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1.  $Y_{1.6}Ca_{1.4}Fe_4V_{0.7}In_{0.3}O_{12}$  조성의 YIG 페라이트를 소결온도를 달리하여 실험한 결과, 1300°C에서 소결된 YIG 페라이트가 가장 높은 밀도를 보였고, 자기적 특성 역시 가장 우수하였다.
2.  $Y_{2.1}Ca_{0.9}Fe_{4.4}V_{0.5}In_{0.05}Al_{0.05}O_{12}$  조성의 YIG 페라이트의 경우 이론밀도의 92%의 높은 밀도값을 나타내었으며 전자기적 특성 역시 우수하였다.
3.  $Y_{2.1}Ca_{0.9}Fe_{4.4}V_{0.5}In_{0.05}Al_{0.05}O_{12}$  조성의 소결체의 경우 1330°C, 1350°C에서 높은 포화자화( $4\pi M_s$ )값과 낮은 보자력( $H_c$ )을 가졌으며, 1350°C에서 가장 우수한 전자기적 특성을 나타내었다.
4. 아이솔레이터 부품용 YIG가네트는 치밀화에 따른 높은 소결밀도를 가져야 전자기적 특성이 우수함을 알 수 있었다. 특히  $Y_{2.1}Ca_{0.9}Fe_{4.4}V_{0.5}In_{0.05}Al_{0.05}O_{12}$  조성을 갖는 1350°C 소결체의 경우 고주파영역에서 가장 우수한 isolation 특성을 나타내었다.

### Acknowledgement

본 연구는 전자부품연구원 2001년도 전자부품기반기술개발사업의 자원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

### References

1. R.L White, J. Appl. Phys, **40**, 1061 (1969).
2. C. L. Hogan, "The ferromagnetic Faraday effect at microwave frequencies and its applications." *Bell Syst. Tech. J.*, **31**, 1-31 (1952)
3. F. Bertaut, F. Forrat, "Structure des ferrites ferrimagnetiques des terres rares", *Compt. Rend.*, **242**, 382 (1956).
- garnets", *Bell Syst. Tech. J.*, **43**, 565 (1964)
4. S. Geller, M. A. Gilleo, " Structure and ferromagnetism of yttrium and rare earth iron garnets", *Acta Cryst.*, **10**[3], 239 (1957)

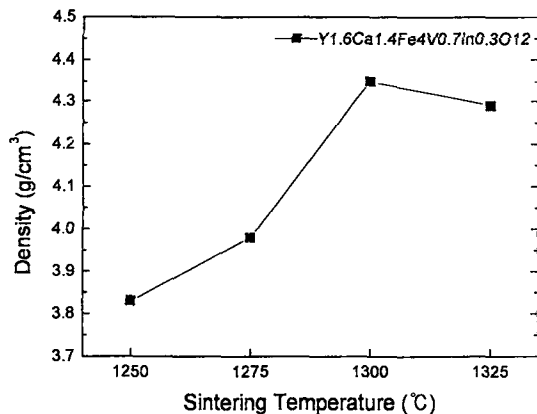


Fig. 1. Densities of YIG ferrites sintered at various temperatures.

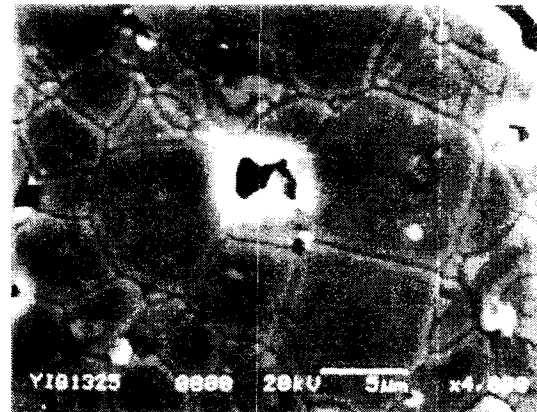


Fig. 2. SEM micrograph of YIG ferrite sintered at 1325°C. ( $Y_{1.6}Ca_{1.4}Fe_4V_{0.7}In_{0.3}O_{12}$ )

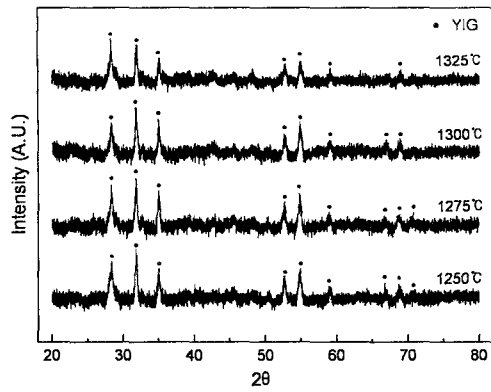


Fig. 3. X-ray diffracton patterns of YIG ferrites sinterd at various temperatures.

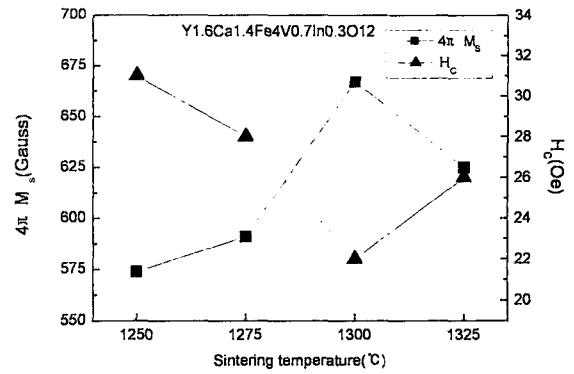


Fig. 4. Magnetic properties of YIG ferrites sintered at various tempertures.

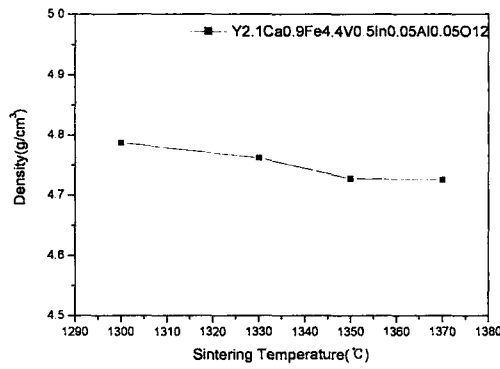


Fig. 5. Densities of YIG ferrites sintered at various temperature.

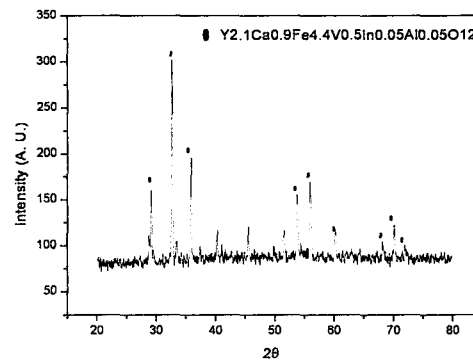


Fig. 6. X-ray diffraction patterns of YIG ferrites sintered at 1350°C

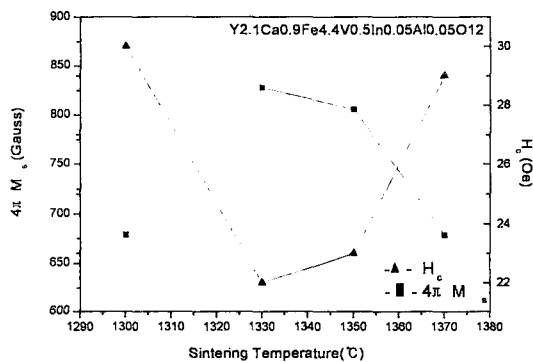


Fig. 7. Magnetic properties of YIG ferrites sintered at various temperature.

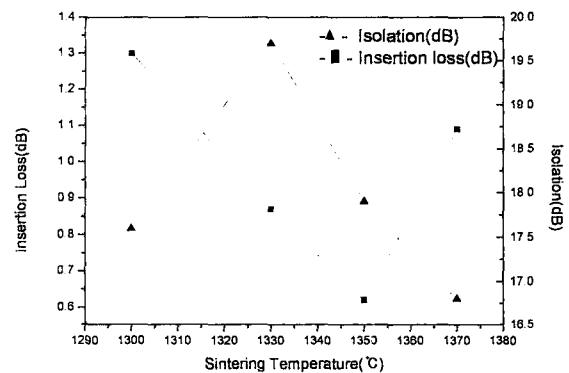


Fig. 8. Isolation and Insertion Loss of YIG ferrites sintered at various temperature.