

# Y/Mn의 혼합비에 따른 YMnO<sub>3</sub> 세라믹의 소결 및 유전특성 논문 13-2-8

## Sintering and Dielectric Properties of YMnO<sub>3</sub> Ceramics with the Effect of Y/Mn Ratio

김재윤\*, 김부근\*, 김강언\*, 정수태\*, 조상희\*\*

(Jae Youn Kim\*, Boo Keun Kim\*, Kang Eun Kim\*, Su Tae Chung\*, Sang Hee Cho\*\*)

### Abstract

The sintering and electrical properties of YMnO<sub>3</sub> bulk ceramics were investigated with Y/Mn ratios (Mn rich : 0.80/1.20, 0.90/1.10, 0.95/1.05, and Y rich : 1.00/1.00, 1.05/0.95, 1.10/0.90). The crystal structure of samples showed a hexagonal structure, and the sample of Y/Mn = 0.95/1.05 indicated higher c-axis oriented peak than other samples. In the case of Mn rich samples, the grain sizes were about 7.8μm and they showed 95% of theoretical density. Whereas, in the case of Y rich samples, the grain sizes were about 2.3μm and they showed 86%. The dielectric constant and dissipation factor of the Mn rich samples were smaller than those of the Y rich samples. The samples of Y/Mn = 0.90/1.10 showed the lowest a dissipation factor, and their dielectric constant, dissipation factor and Curie temperature were 36, 0.0136 and 680℃, respectively.

**Key Words(중요용어) :** YMnO<sub>3</sub>, hexagonal structure(육방정 구조), Curie temperature(큐리 온도)

### 1. 서 론

YMnO<sub>3</sub>[YMO] 화합물의 준안정(metastable)상은 사방정(orthorhombic)으로 변형된 페롭스카이트 구조를 갖는 강자성체이다<sup>[1, 2]</sup>. 그러나 안정된 YMO는 격자상수 a=6.136Å 및 c=11.40Å를 갖는 육방정(hexagonal)구조를 갖고 있으며, 결정점군(space group)은 P63cm C36v로 알려져 있다<sup>[1, 3]</sup>. YMO의 결정점군에서 C6는 중심대칭성을 갖지 않는 점군(21개) 중에 극성을 갖는 점군(10개) 중의 하나로서 자발분극이 있음을 의미한다<sup>[4]</sup>. 자발분극을 갖는 결정은 외부에 인가되는 전장의 방향에 의해서 분극반전이 나타나고, 이 분극반전이 존재하는 물질을 강유전체라 한다. 일찍이 Bertaut 등에 의해서 YMO물질에 대한 연구로부터 단 결정에서는 물론 벌크(bluk) 형태에서도 강유전 성질이 있음을 밝혔

다<sup>[5]</sup>. 근래 대용량 집적회로의 비휘발성 메모리에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이에 대한 연구 결과가 매우 고무적이기는 하지만 재료의 선택에 따라서 문제점들이 존재하였다. 예를 들면, PZT<sup>[6]</sup>(lead zirconate titanate)계나 BLSF<sup>[6]</sup>(bismuth layer structure ferroelectrics)계 등의 산화물을 사용한 비휘발성 메모리는 Pb 및 Bi의 휘발성 물질로 생기는 결정결함 때문에 분극피로나 메모리특성의 열화가 일어난다. 그러나 YMO는 강유전성이면서 휘발성 물질이 없으므로 이러한 단점을 보완할 수 있다. Aoki 등<sup>[7]</sup>은 YMO 박막에서 강유전성을 의미하는 히스테리시스 곡선을 관측하였다. 이러한 결과로부터 YMO가 비휘발성 집적회로의 메모리에 적용될 수 있는 가능성을 제기하였으며, YMO에 대한 연구를 다각적으로 행하였다<sup>[8-10]</sup>.

한편 Kitahata 등<sup>[10]</sup>의 실험에서 Y와 Mn의 조성비에 따라서 박막의 미세구조, 결정상 및 유전특성 등이 다소 차이가 있음을 보였다. 이것은 YMO가 비교적 단순한 구조이지만, Mn이 여러 가지의 가전자(2,3,4,6,7)를 가질 수 있는 물질이기에 그 화합물이 복잡함을 의미한다. 그러므로 Y와 Mn의 조성비가 YMO의 물성변화에 어떻게 영향을 미치는 것인가를 체계적으로 조사하고, YMO의 전기적특성이 우수한

\* : 부경대학교 전자공학과  
(608-739), 부산광역시 남구 대연6동 126-8번지, E-mail : jykim@woongbi.pknu.ac.kr

\*\* : 경북대학교 무기재료공학과  
1999년 7월 7일 접수, 2000년 1월 11일 심사완료

시료를 얻기 위해서는 Y와 Mn의 조성비가 최적인 조건이 필요하다. 그런데 Y와 Mn의 조성비 변화에 대한 소결 및 물리적특성을 비교 검토하는 데는 박막보다는 조성의 혼합이나 시료의 취급이 용이한 벌크형이 바람직한 것으로 생각된다. 본 실험에서는 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 MnCO<sub>3</sub>의 분말혼합법으로 벌크형 YMO 시료를 만들어서 Y와 Mn의 혼합비에 대한 결정상, 미세구조, 그리고 소결한 시료에 있어서 Y 및 Mn의 혼합비에 대한 성분의 변화를 조사하였다. 또한 시료의 유전특성을 결정구조나 미세구조와 비교 검토하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시료제작

YMnO<sub>3</sub>[YMO]의 화합물은 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 물질로 합성이 가장 바람직하지만 Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 물질은 비교적 불안정하고 구입하기가 쉽지 않았다. 그러나 Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 MnO<sub>2</sub>를 공기 중에서 530~940℃로 가열하면 얻을 수 있다. 그래서 Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 대신에 비교적 순도가 높고 구입하기 쉬운 MnCO<sub>3</sub> 물질을 사용하였다<sup>[11]</sup>. YMO 화합물을 만들기 위하여 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Aldrich Chemical Co., 99.9%)와 MnCO<sub>3</sub>(일본 高純度化學研究所, 99.9%)를 Y/Mn의 혼합비가 0.80/1.20, 0.90/1.10, 0.95/1.05, 1.00/1.00, 1.05/0.95 및 1.10/0.90로 되도록 혼합하였다. 조성에 따라서 분말을 칭량한 후에 분말과 ZrO<sub>2</sub> 볼(직경 3 mm)을 폴리에틸렌통에 넣고 알코올을 용매로 하여 20 시간 혼합하였다. 건조 후에 1300℃에서 10시간 하소하였고, 이 분말을 또 동일한 방법으로 20시간 혼합하였다. 건조시킨 분말에 결합제(4 wt% PVA 용액)를 분말 100 g당 4 cc의 비율로 섞고, 직경 약 0.2 mm의 스테인레스 망을 통과시켜 과립으로 만들었다. 이 과립상의 분말을 직경 10 mm의 스테인레스 성형기에 넣어서 약 1000 Kg/cm<sup>2</sup>의 압력을 가하여 원통상의 시편을 만들었다. 이 성형된 시료를 500℃에서 2시간 동안 유지하여 결합제를 태우고, 150℃/h 비율로 온도를 상승시켜 1400℃에서 2시간 소결하였다.

### 2.2 측정

소결된 시료에 대하여 X선 회절분석(Rigaku, D/max-2500)으로 결정구조를 조사하였다. 그리고 Y/Mn의 혼합비에 대한 격자상수를 조사하기 위하여 (004)면과 (112)면에 대하여 다음의 수식을 이용하였다.

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + k^2}{a^2} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (1)$$

여기서 d : 면간 거리, h,k,l : 밀러 지수, a, c : 격자상수이다.

미세구조를 조사하기 위하여 전자현미경(Hitachi, S-2700)으로 파단면의 입자형태를 6000배의 배율로 관찰하였다. 또한 Y와 Mn의 양을 정량적으로 조사하기 위하여 EDX(Hitachi, S-4200)분석을 하였다.

소결된 시료를 두께 2 mm로 연마 후에 은 전극을 입혔다. 유전특성은 LCZ meter(HP4192A)를 사용하였다. 유전율은 시료의 정전용량을 측정하여 계산한 값이다. 그리고 유전율의 온도의존특성은 5℃/min의 비율로 온도를 상승시켜 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 소결특성

그림 1은 1400℃에서 2시간동안 소결한 시료의 각 Y/Mn의 혼합비에 따른 YMO의 X선 회절피크 곡선을 나타낸 것이다. 모든 시료의 회절피크의 강도는 각 조성에 따라서 다소 차이가 있으나, YMO의 JCPDS 카드의 피크 위치는 거의 비슷하였다. JCPDS 카드에 있어서 YMO의 XRD결과는 (112)의 피크 강도가 제일 크고, (004)의 크기는 (112)의 피크 강도의 80%이다. 그러나 Y/Mn=0.95/1.05의 시료는 (004)의 피크가 가장 높고, YMnO<sub>3</sub>에 정량적으로 가장 가까운 육방정(hexagonal) 결정상을 나타내었다. 한편 YMO의 JCPDS 카드에서 제시한 a 및 c축의 격자상수의 값은 6.136Å 과 11.40Å 이다. 그림 1에서와 같이 피크의 위치가 Y/Mn의 혼합비에 따라서 조그만 차이가 있으므로 격자상수의 값들이 다르게 됨을 예견할 수 있다.

그림 2는 그림 1에서 보여준 X선 회절결과로부터 (004)와 (112)에 대한 격자상수 a 및 c를 계산한 것이다. 여기서 JCPDS카드에 있어서 a 및 c축의 격자상수의 값은 6.136Å 과 11.40Å 이다. Y/Mn의 값이 0.95/1.05인 시료는 다른 시료에 비하여 격자상수 c(11.404Å)는 가장 높음을 나타내었으나, 이것은 JCPDS 카드의 결과와 비슷하였다. 그러나 a(6.124Å)는 다른 시료에 비하여 가장 낮음을 나타내었을 뿐만 아니라, JCPDS 카드의 결과보다도 낮았다. 왜 이 시료에서 a가 낮은지 그 이유는 모르겠으나, tetragonality의 비인 c/a의 값이 가장 높은 이유는 그림 1의 X선 회절결과로부터 (004)의 피어

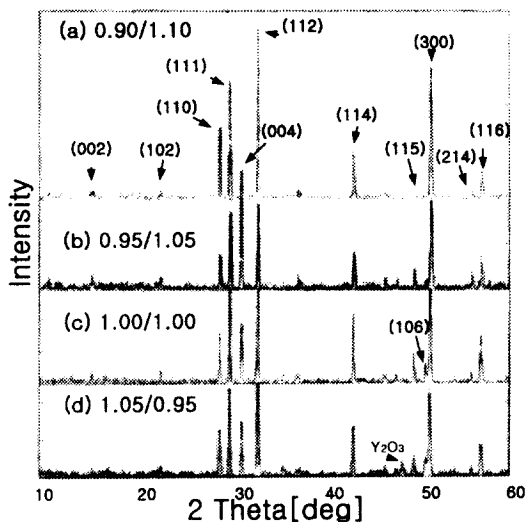


그림 1. Y/Mn의 혼합비에 따른 XRD의 형태 (a) 0.90/1.00, (b) 0.95/1.05, (c) 1.00/1.00, (d) 1.05/0.95.

Fig. 1. X-ray diffraction patterns with Y/Mn ratios.

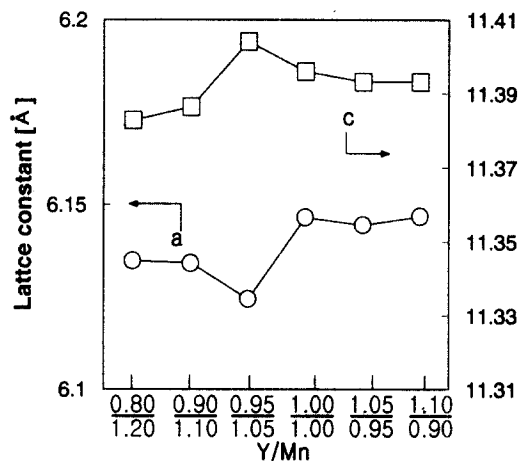


그림 2. Y/Mn의 혼합비에 따른 a 및 c축 격자상수.  
Fig. 2. Lattice constant of a and c-axis with Y/Mn ratios.

커가 가장 높았기 때문이다. 그리고 격자상수의 값에 큰 차이는 없으나, 0.95/1.05인 시료를 기준으로 이것보다 큰 시료(Y 과잉)가 적은 시료(Mn 과잉)보다 격자상수 a, c가 큼을 나타내었다. 이러한 현상

표 1. Y 및 Mn의 조성비에 따른 시료의 EDX결과와 계산값의 원소 무게비

Table 1. The ratio of atomic weight(EDX/cal) of samples with Y/Mn ratio.

조성비(Y/Mn)		0.9/1.1	1.0/1.0	1.1/0.9
계산값	Y/(Y+Mn)	56.97	61.81	66.42
	Mn/(Y+Mn)	43.03	38.19	33.58
측정값	Y	57.83	65.52	74.54
	Mn	42.17	35.48	25.46
M/C	Y	101.5	106	112.22
	Mn	98	93	76

(Y/Mn의 값이 0.95/1.05인 시료는 제외)은 YMO 박막의 경우와 비슷하였으며<sup>[10]</sup>, 그 이유는 Y의 이온 반경(1.06Å)이 Mn의 이온반경(0.70Å) 보다 더 크기 때문이라 추측된다. 그리고 X선 회절결과에서 Y/Mn의 혼합비가 1.05/0.95와 1.10/0.90인 Y과잉의 시료에서는 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 피이커가 비교적 뚜렷하게 관찰되었으므로, 이러한 시료는 YMO 이외에 미반응 물질 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 혼합되었음을 알 수 있다. 그러나 그 이외의 시료에서는 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>나 MnO<sub>2</sub>의 피이커를 인식하기 어려웠으므로 단일상의 YMO가 되었다고 생각한다. 그런데 Mn이 과잉인 시료에서는 MnO<sub>2</sub>가 나타나지 않고, 왜 Y가 과잉인 시료에서만 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 나타났을까? 그 이유를 조사하기 위하여 EDX분석을 하였다.

표 1은 Y/Mn의 각 조성에 대한 EDX분석 결과와 초기 Y/Mn 혼합비에 대한 원소의 무게비를 나타낸 것이다. 표에서 계산값 C는 초기 혼합비에서 각각 계산한 원소의 Y(원자량 88.906) 및 Mn(원자량 54.938)의 무게 비율이며, 측정값 M은 EDX분석에서 얻은 결과이다. 표 1에서 Y/Mn의 혼합비가 0.9/1.1인 시료에서는 Y와 Mn의 조성이 혼합비와 거의 일치하였다. 그러나 Y의 양이 증가함에 따라서 Mn의 양이 초기 혼합량에 대하여 감소하였으며, Y/Mn의 비가 1.1/0.9인 시료에서는 Mn의 양이 약 76%로 감소하였다. 이것은 Y의 양이 증가할수록 Mn이 시료 밖으로 석출되어 Mn의 부족을 의미한다. 실제 YMO를 소결할 때, 시료의 주변에 MnO<sub>2</sub>가 석출됨을 X선 회절분석으로 확인하였다. 그러므로 Y과잉의 시료에서 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 관찰되는 것은 Mn의 부족에 기인함을 알 수 있다. 그러나 왜 Y가 과잉의 시료에서 MnO<sub>2</sub>가 석출되는 이유는 앞으로 자세하게 관찰해 보아야겠다.

그림 3은 Y/Mn의 혼합비에 따른 시료의 미세구조를 나타낸 것이다. Y이 Mn보다 많은 시료에서는 입자의 크기(2.3µm)가 적고 기공이 많이 보였으며, Mn

과잉인 시료에서는 입자의 크기( $7.8\mu m$ )가 매우 크게 성장하였다. Y과잉시료에서 기공이 많은 이유는 표 1의 EDX 분석에서 Y와 Mn의 조성이 불균형되었기 때문이라고 생각한다.

그림 4는 Y/Mn의 혼합비에 따른 시료의 소결밀도를 나타낸 것이다. Mn과잉의 시료는 소결밀도가  $4.9[g/cm^3]$ 이며 이론적 밀도( $5.142 g/cm^3$ )의 95%가 되었고, Y과잉의 시료는 소결밀도가  $4.4[g/cm^3]$ 이고 이론적 밀도의 86%로 비교적 낮았다. Y의 원자질량(88.91)이 Mn(54.94)보다 크기 때문에 Y과잉시료의 밀도가 증가되어야 함에도 불구하고 밀도가 낮아지는 이유는 표 1의 EDX분석에서 알 수 있는 바와 같이 Y과잉시료에서 Mn이 석출되었기 때문이다. 그리고 Mn과잉시료가 Y과잉시료보다 소결밀도가 높은 이유는 그림 3의 미세구조에서 나타난 바와 같이 입자의 크기가 크고 기공이 적었기 때문이라 생각한다. 그러나 Mn과잉의 경우에도 시료의 소결밀도는 JCPDS 카드에서 제시한 이론적 밀도의 약 95%밖에 되지 않았다.

그림 3. Y/Mn의 혼합비에 따른 미세구조.  
Fig. 3. Microstructure of samples with Y/Mn ratios.

### 3.2. 유전특성

그림 5와 6은 Y/Mn의 혼합비에 따른 시료의 유전율 및 유전손실을 나타낸 것이다. 시료의 유전율은 Y/Mn=0.95/1.05의 시료에서 가장 낮은 값을 나타내었으며, 유전손실은 Y/Mn=0.90/1.10의 시료에서 가장 낮은 값을 나타내었다. 일반적으로 유전체 세라믹스는 소결밀도 및 입자의 크기가 증가하면 유

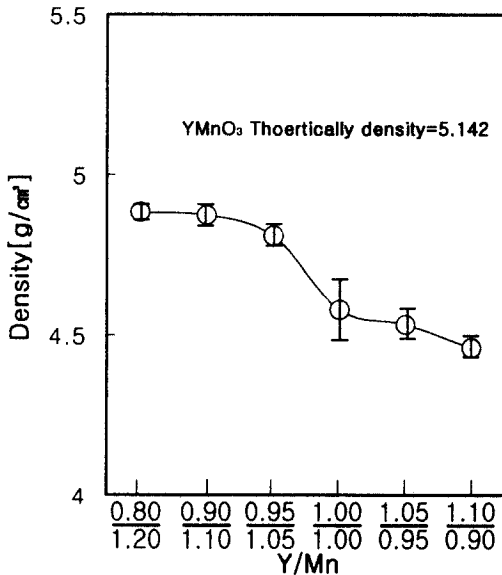


그림 4. Y/Mn의 혼합비에 따른 시료의 소결밀도.  
Fig. 4. Density of samples with Y/Mn ratios.

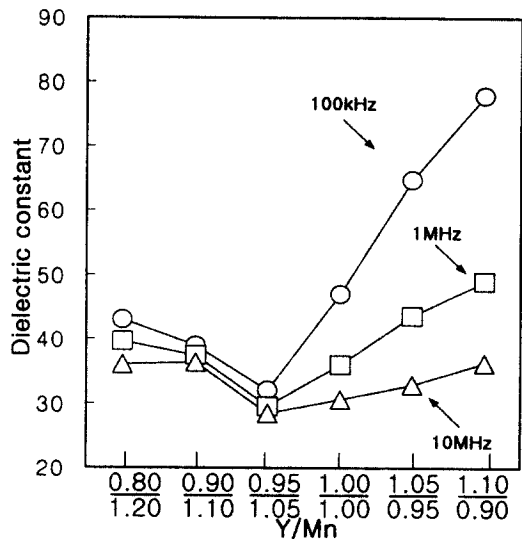


그림 5. Y/Mn의 혼합비에 따른 유전상수.  
Fig. 5. Dielectric constant of samples with Y/Mn ratios.

전율이 증가하는 것으로 알려져 있다. 그러나 Y/Mn=0.95/1.05의 시료가 유전율이 가장 낮은 이유는 소결밀도나 입자의 크기 보다는 오히려 결정구조에 기인한다. 즉 그림 2의 X선 회절결과로부터 0.95/1.05시료는 다른 시료에 비하여 (004)의 피크가 가장 높았다. 여기서 (004) 피크의 크기는 결정의 c축이 배향되는 정도를 나타낸다. tetragonality(c/a)가 큰 PbTiO<sub>3</sub>의 세라믹에 있어서 c축 배향이 클수록 유전율이 감소함을 보였다<sup>[12]</sup>. 이러한 이유로 해서 시료의 (004) 피크가 클수록 유전율은 감소하기 때문에 0.95/1.05시료가 유전율이 가장 낮아진다고 생각한다. 한편 YMO세라믹을 유전체로서 사용할 경우에는 시료의 유전손실이 적은 것이 매우 중요하므로 Y/Mn = 0.90/1.10의 시료가 가장 적합함을 알 수 있다. 그리고 이때의 유전율은 YMO의 단결정(20)<sup>[3]</sup>에 비하여 약 2배나 높은 36이었으며, 유전손실은 0.0136이었다.

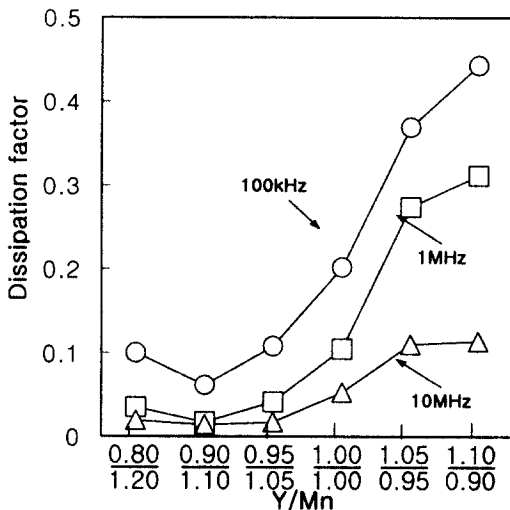


그림 6. Y/Mn의 혼합비에 따른 손실계수.  
Fig. 6. Dissipation factor of samples with Y/Mn ratios.

그림에서 Y 과잉의 시료에서는 Y/Mn 혼합비에 대한 유전 및 유전손실의 변화와 주파수에 대한 유전률 및 유전손실의 변화가 매우 큼을 보였다. 유전체에서 유전특성(유전율 및 유전손실)의 주파수 의존성이 나타나는 이유는 시료에 있어서 미세구조의 결합이나 결정결합에 의한 공간전하의 분극현상이다<sup>[12]</sup>.

즉 손실이 있는 불균질 유전체의 경우, 유전체 내부의 결정결합이나, 단일상(YMO)이 아닌 다른상 등의 존재로 경계면에 캐리어가 포획되어 균일한 캐리어의 이동이 유전체 내부에 방해될 받게 된다. 이와 같이 경계면에 축적된 전하는 분극을 형성하고 이러한 분극을 계면분극이라 하며, 이 계면분극은 주파수가 낮을수록 크게 나타나며 또한 주파수의 의존성이 크다. 그러므로 Y과잉의 시료에서 Y/Mn의 혼합비나 주파수에 대한 유전특성의 변화가 큰 이유는 미세구조에서 나타난 바와 같이 Y과잉의 시료에서 기공이 많고 또한 소결밀도가 낮기 때문이다.

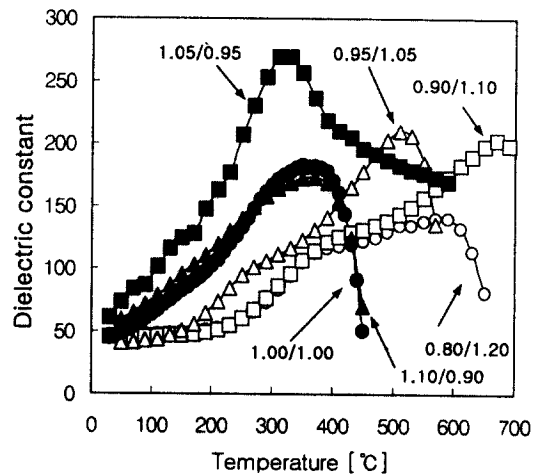


그림 7. Y/Mn의 혼합비에 따른 시료의 유전율-온도 특성.  
Fig. 7. Dielectric constant vs. temperature characteristics of samples with Y/Mn ratios.

그림 7은 Y/Mn의 혼합비에 따른 시료의 유전율-온도특성을 나타낸 것이다. 이때 측정주파수는 1MHz이다. 유전율의 온도특성은 결정의 상전이를 나타내는 큐리온도를 알 수 있다. Y과잉의 시료에서는 300~400°C 부근에서 큐리온도를 나타내었다. 그러나 Mn과잉의 시료에서는 Mn의 양이 증가함에 따라 큐리온도가 증가함을 보였고 Y/Mn=0.90/1.10인 시료에서 약 680°C를 나타내었으며, 그 이상의 Mn과잉 시료에서는 오히려 저하하였다. 이상과 같이 조성의 변화에 대한 큐리온도가 다른 것은 단일상이 아닌 다결정상 세라믹에서 많이 보이는 현상이

다. 그러나 본 시료는 단일상(YMO)으로 생각되어 짐에도 불구하고, Y 및 Mn의 혼합비에 대한 큐리온도의 변화가 규칙적이지 못하고, 또한 적은 Y/Mn의 변화에 대해서도 큐리온도가 크게 다른 이유는 앞으로 더 조사를 해보아야겠다. 유전율의 온도특성에서 온도의 변화에 대한 물성의 변화가 적은 유전특성을 원한다면 Y/Mn의 비가 0.90/1.10인 시료가 가장 바람직하며, 이 시료의 큐리온도는 YMO의 단결정(약 640℃)과 비슷한 값을 가졌다.

#### 4. 결 론

본 논문은 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 MnCO<sub>3</sub>의 산화물 혼합방법으로 Y/Mn의 혼합비가 0.80/1.20, 0.90/1.10, 0.95/1.05 1.00/1.00 1.05/0.95, 1.1/0.9로 되도록 조성율 달리하면서 벌크형 YMnO<sub>3</sub> [YMO]세라믹스를 만들었다. Y/Mn 혼합비가 0.95/1.05 시료에서 YMnO<sub>3</sub>에 정량적으로 가장 가까운 hexagonal 결정상을 나타내었으며, c축 배향성이 가장 좋았다. 그리고 YMO 세라믹스의 물리적특성들은 두 그룹으로 구분되었다. Y/Mn의 혼합비가 0.8/1.2, 0.9/1.1 및 0.95/1.05 인 시료는 Mn과잉 그리고 Y/Mn의 혼합비가 1.00/1.00, 1.05/0.95 및 1.10/0.90인 시료는 Y과잉으로 각각 분류하여, 그 소결특성 및 유전 특성을 요약하면 다음과 같다.

- 1) Mn과잉시료는 입자의 크기(7.8 $\mu$ m)가 크고 소결 밀도(이론적 밀도의 95%)가 높은 반면에 Y과잉 시료는 입자의 크기(2.3 $\mu$ m)가 작고 기공이 많으며 소결밀도가 이론 밀도의 86%로 감소하였다.
- 2) Mn과잉시료는 유전율 및 유전손실이 작고 큐리온도(500~700℃)가 높았으며, Y과잉시료는 유전율 및 유전손실이 매우 크고 큐리온도(300~400℃)가 낮았다.
- 3) Y/Mn=0.9/1.1인 시료는 유전율이 36, 유전손실이 0.0136이며, 큐리온도가 680℃였다.

#### 참 고 문 헌

[1] H. W. Brinks, H. Fjellvag, and A. Kjekshus, "Synthesis of Metastable Perovskite type YMnO<sub>3</sub> and HoMnO<sub>3</sub>", J. Solid State Chem. 129, pp. 334-340, 1997.

[2] R. C. Buchanan, Ceramic Materials for Electronics, New York, Marcel Dekker, INC, p. 392, 1991.

[3] N. Fujimura, T. Ishida, T. Yoshimura, and T. Ito, "Epitaxially grown YMnO<sub>3</sub> film : New candidate for nonvolatile memory devices", Appl. Phys. Lett., 69, (7), pp. 1011-1013, 1996.

[4] 中村輝太郎, 強誘電體と 構造相轉移, 東京, 裳華房, pp. 7-10, 1988.

[5] T. Mihara, H. Watanabe, C. A. Araujo. Jpn. Appl. Phys. 32. p. 4168, 1993.

[6] T. Mihara, H. Watanabe, C. A. Araujo. Jpn. Appl. Phys. 33. L1703, 1993.

[7] Nobuaki Aoki, Norifumi Fujimur, Takeshi Yoshimura, Taichiro Ito, "Formation of YMnO<sub>3</sub> films directly on Si substrate" J. Crystal Growth. 174 pp 796-800, 1997.

[8] T. Yoshimura, N. Fujimura, N. Aoki, K. Hokayama, S Tsukui, K. Kawabata, T. Ito, "Fabrication of YMnO<sub>3</sub> Thin Films on Si Substrates by a Pulsed Laser Deposition Method" Jpn. J. Appl. Phys. 38. pp. 5921-5924, 1997.

[9] N. Fujimura, H. Tanaka, H. Kitahata, K. Tadaga, T. Yoshimura, T. Ito, T. Minami, "YMnO<sub>3</sub> thin films prepared from solutions for Volatile memory devices" Jpn. J. Appl. Phys. 36 pp. 1601-1603, 1997.

[10] H. Kitahata, K. Tadanaga, T. Minami, N. Fujimura, T. Ito, "Microstructure and Dielectric Properties of YMnO<sub>3</sub> thin films prepared by dip-coating", J. Am. Ceramic. Soc. 81. 5. pp. 1357-1360, 1998.

[11] 김문집, 서일환, "X-선 회절 분석", 반도체출판사, p. 276, 1995.

[12] K. H. Yoo "Dielectric properties of Barium Titanate with Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and ZnO J. Mat. Soc. Lett. 8. pp. 153-156, 1989.

[13] I. G. Ismailzade, S. A. Kizhaev. "Determination of the currie point of ferroelectrics YMnO<sub>3</sub> and YbMnO<sub>3</sub>" Soviet. Physics. Solid. State 7. 1. pp. 236-238, 1965.