

소결온도에 따른 $(1-x)\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9-x\text{TiO}_2$ ($x=0, 0.3, 0.4$) 세라믹스의 마이크로파 유전특성

論文
53C-2-3

Microwave Dielectric Properties of $(1-x)\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9-x\text{TiO}_2$ ($x=0, 0.3, 0.4$) Ceramics with Sintering Temperature

金再植* · 崔儀善** · 李文其*** · 李永熙§
(Jae-Sik Kim · Eui-Sun Choi · Moon-Kee Lee · Young-Hie Lee)

Abstract - The microwave dielectric properties and microstructure of the $(1-x)\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9-x\text{TiO}_2$ ($x=0, 0.3, 0.4$) ceramic were investigated. The specimens were prepared by the conventional mixed oxide method with sintering temperature of $1350^\circ\text{C} \sim 1425^\circ\text{C}$. According to the XRD patterns, the $(1-x)\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9-x\text{TiO}_2$ ($x=0, 0.3, 0.4$) ceramics have the $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ phase (hexagonal). The dielectric constant (ϵ_r) and density increased with sintering temperature and mole fraction of x . To improve the quality factor and the temperature coefficient of resonant frequency, TiO_2 ($\epsilon_r = 100$, $Q \times f_r = 40,000\text{GHz}$, $\tau_f = +45 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$) was added in $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ ceramics. In the case of the $0.7\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9-0.3\text{TiO}_2$ and the $0.6\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9-0.4\text{TiO}_2$ ceramics sintered at 1400°C for 5hr., the microwave dielectric properties were $\epsilon_r = 11.72$, $Q \times f_r = 126,419\text{GHz}$, $\tau_f = -31.82 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ and $\epsilon_r = 12.19$, $Q \times f_r = 109,411\text{GHz}$, $\tau_f = -17.21 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, respectively.

Key Words : $Q \times f_r$, $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$, TiO_2 , sintering temperature

1. 서 론

최근 이동통신의 비약적인 발전에 의하여 고주파(\sim 수GHz)에서 사용되는 세라믹 유전체 공진기에 대한 관심이 증가하고 있다. 이들 유전체 공진기는 그 사용용도상 소형화, 높은 주파수 선택성 및 고신뢰도 등의 특성을 갖추어야 한다.[1-3] 특히 1990년도 초에는 $\text{BaO}-\text{Re}_2\text{O}_3$ [4]와 $(\text{Pb}_{1-x}\text{Ca}_x)\text{ZrO}_3$ [5]와 같은 높은 유전율(약 100)을 가지는 물질에 대한 연구가 활발했다. 유전체 공진기의 크기는 $\lambda \cdot k^{-1/2}$ (λ : wavelength, k : dielectric constant)에 비례하기 때문에 높은 유전율을 가지는 재료를 사용하면 공진기의 크기를 줄일 수 있다. 하지만 최근 급속히 증가하는 사용자를 수용하기 위해 사용주파수가 800MHz 대역에서 2~10GHz로 이동하면서 재료가 높은 유전율을 가질 필요가 없어졌다. 그리고 사용주파수가 고주파 영역으로 이동하면서 $Q \times f_r$ 가 일정하기 때문에 높은 quality factor, Q ($\cong \tan \delta^{-1}$)가 더욱 중요해 졌다.[6] 따라서 고주파수 대역에서 높은 품질계수를 가지는 복합 페로브스카이트와 같은 재료[7-9] 및 이를 이용한 유전체 공진기의 필요성이 절실히 요구되고 있다.

이에 본 논문에서는 높은 품질계수를 가지는 유전체 세라믹스를 개발하기 위해 비교적 높은 품질계수를 가지는

$\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ (유전율: 11.56, 온도계수: $-36.02 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$, 품질계수: 71,243) 물질을 새로이 제조하여 실험의 주 물질로 사용하였다. 하지만 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 물질의 온도계수가 $-36.02 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 로서 공진기 등의 고주파 구성요소로 사용하기 부적절하다. 따라서 품질계수를 높이고 온도계수를 '0'에 가까운 값을 가지게 하기 위해서 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 물질에 일반적으로 소결 시 치밀화를 증진시키는 것으로 알려져 있고 큰 양의 온도계수를 가지는 TiO_2 를 혼합하여 $(1-x)\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9-x\text{TiO}_2$ ($x=0, 0.3, 0.4$) 계 세라믹스의 소결온도에 따른 마이크로웨이브 유전특성을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 시편의 제조

본 실험에서는 일반적인 산화물 혼합법으로 $(1-x)\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9-x\text{TiO}_2$ ($x=0, 0.3, 0.4$) 세라믹스를 제작하였다. 출발원료는 MgO , Ta_2O_5 , TiO_2 를 사용하였다. MgO 와 Ta_2O_5 를 조성식에 따라 평량한 후 알코올을 분산매로 지르코니아불로 24시간 동안 혼합분쇄 하였다. 혼합분쇄한 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 분말을 100°C 전기 오븐에서 24시간 동안 건조한 후 알루미늄 도가니에 넣어 1200°C 에서 3시간동안 하소하였다. 하소시 전기로의 온도상승율은 $5^\circ\text{C}/\text{min}$.로 하였다. 하소한 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 분말과 TiO_2 를 몰비에 따라 알코올을 분산매로 지르코니아불을 사용하여 12시간 동안 재혼합분쇄하였으며, 충분히 건조하였다. 재혼합분쇄된 파우더를 원통형 금형($\Phi=12.8\text{mm}$)에 넣고 $1000\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 압력을 가해 성형을 하였으며, 성형한 시료를 $1350^\circ\text{C} \sim 1425^\circ\text{C}$ 의 온도범위로 5시간 동안 공기중에서 소결하였다. 이 때 온도상승은 $5^\circ\text{C}/\text{min}$.의 속도로 하였다.

* 准會員 : 光云大學 電子材料工學科 碩士課程
 ** 正會員 : 光云大學 電子材料工學科 博士課程
 *** 正會員 : 光云大學 電子材料工學科 博士課程
 § 正會員 : 光云大學 電子材料工學科 教授 · 工博
 接受日字 : 2003年 8月 26日
 最終完了 : 2003年 12月 26日

2.2 측정

소결온도에 따른 결정구조의 변화 및 고용체 형성과정을 고찰하고자 X-선 회절분석을 하였다. X-선은 $\text{CuK}\alpha_1$ ($\lambda=1.542 \text{ \AA}$)을 사용하였으며, 스텝폭과 주사속도는 각각 0.05° , $3^\circ/\text{min}$ 로 하였다. 주사현미경을 이용하여 결정립의 형태, 결정립계, 기공 등의 미세구조를 고찰하였다. 시편의 소결상태를 알아보기 위해 Archimedes method를 이용하여 밀도를 측정하였다. 또한 EDS를 이용하여 결정립들의 조성을 고찰하였다.

마이크로파 유전특성은 양면을 거울면 연마한 실린더형 시편들에 대하여 Hakki와 Coleman에[10] 의해 제시되고 Kobayashi등이[11] 보정한 평판형 공진기법(parallel plate method)으로 유전율(ϵ_r)과 무부하 Q를, 투과모드의 캐비티 공진기법(cavity resonator method)으로 공진주파수의 온도계수(τ_f)값을 측정하였다. 그리고 τ_f 값은 25°C 와 85°C 에서 측정된 주파수를 식(1)에 넣어서 계산하였다.

$$TCRF = \left(\frac{1}{f_{25}}\right) \cdot \left(\frac{f_{85} - f_{25}}{60}\right) \cdot 10^6 (\text{ppm}/^\circ\text{C}) \quad (1)$$

3. 결과 및 고찰

그림 1은 $1375^\circ\text{C} \sim 1450^\circ\text{C}$ 사이의 범위에서 소결한 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 세라믹스의 X-선 회절 패턴을 나타내었다. 전체의 소결온도 범위에서 주 상인 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 상과 이차상인 MgTa_2O_6 상 나타났다. $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 상은 육방정계의 결정구조를 가지고 MgTa_2O_6 상은 정방정계의 결정구조를 가지고 있는 것으로 확인되었다. $1375^\circ\text{C} \sim 1400^\circ\text{C}$ 의 소결온도 범위에서 온도가 증가함에 따라 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 상의 회절강도는 증가하였다. 1425°C 이상의 소결온도에서는 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 상의 회절강도는 감소하였다. 이 현상으로부터 순수한 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 세라믹스의 적정 소결온도는 1400°C 임을 확인할 수 있었다. MgTa_2O_6 는 $\epsilon_r = 30.3$, $Q \times f_r = 59,600\text{GHz}$, $\tau_f = +30 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ 의 마이크로파 유전 특성을 가지는 것으로 보고되고 있다.[12] 전체 소결온도범위에서 미반응상은 나타나지 않았고, $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 파우더에서 발견된 이차상인 MgTa_2O_6 상은 소결이 진행됨에 따라 에너지를 얻어 대부분 주 상인 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 상으로 변이하였기 때문에 소결한 후의 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 세라믹스에선 많이 감소한 것으로 사료된다.

그림 2와 3은 소결온도에 따른 $(1-x)\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9-x\text{TiO}_2$ ($x=0.3, 0.4$) 세라믹스의 X-선 회절 패턴을 나타내었다. 모든 조성에서 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 세라믹스에서 나타나는 이차상인 MgTa_2O_6 상이 TiO_2 의 소량 첨가에 따라 MgTi_2O_5 의 이차상으로 나타났다. 이 현상은 원자가 +5가인 Ta이온이 +4가의 Ti이온과 치환하면 양이온 공극을 생성하므로 치환고용체를 생성하기가 어려워 보인다. 따라서 MgTa_2O_6 상이 TiO_2 의 첨가에 의해 일반적인 산화물 혼합법으로 제작된 시편에서 없애기 힘들고 결합성이 강한 중간상인 MgTi_2O_5 상으로 형성된 것으로 사료된다.[13] 육방정계의 결정구조를 가지는 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 상에 비해 이차상인 MgTi_2O_5 상은 사방정계의 결정구조를 나타내고 있어 소결시 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 상과 MgTi_2O_5 상의 경계면에서 결정구조의 차이에 의한 격자결합을 유발하는 결정 불일치를 가져올 것으로 생각된다. 두 조성 모두 전체의 소결온도 범위에서 온도가 증가함에 따라 이차상의 회절강도

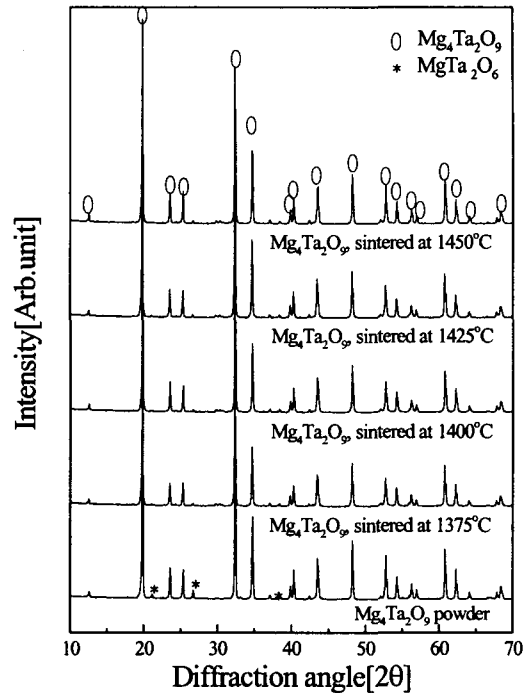


그림 1 소결온도에 따른 $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ 세라믹스의 X-선 회절 패턴.

Fig. 1 XRD patterns of the $\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9$ ceramics with sintering temperature.

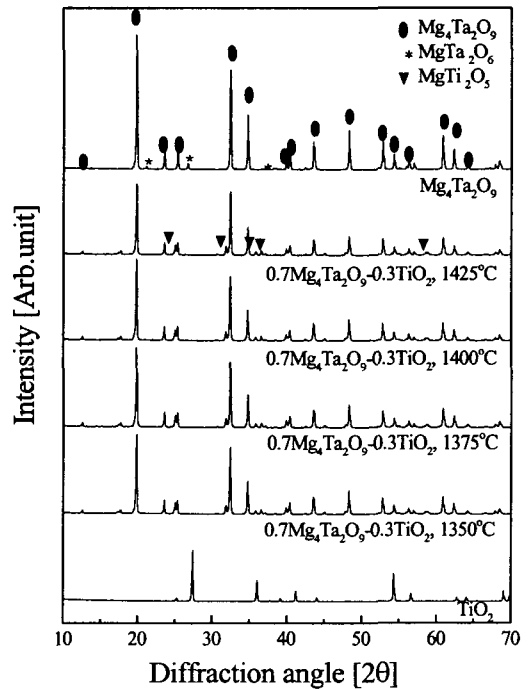


그림 2 소결온도에 따른 $0.7\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9-0.3\text{TiO}_2$ 세라믹스의 X-선 회절 패턴.

Fig. 2 XRD patterns of the $0.7\text{Mg}_4\text{Ta}_2\text{O}_9-0.3\text{TiO}_2$ ceramics with sintering temperature.

가 감소하였다. 일반적으로 이차상은 기공 등과 함께 시편내의 마이크로파 유전 특성을 감소시키는 원인으로 알려져 있기 때문에 이차상인 $MgTi_2O_5$ 상은 $(1-x)Mg_4Ta_2O_9-xTiO_2$ ($x=0.3, 0.4$) 세라믹스의 마이크로파 유전 특성에 영향을 미칠 것으로 사료된다.

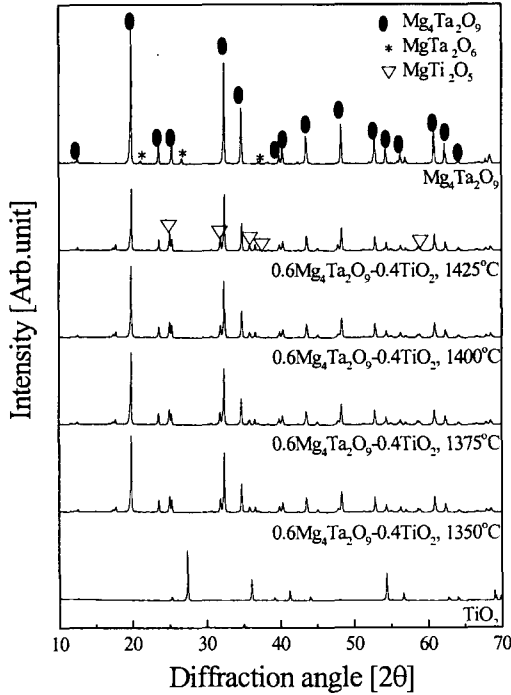
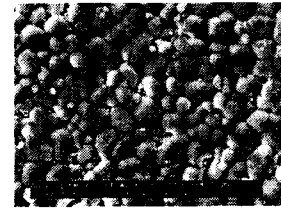


그림 3 소결온도에 따른 $0.6Mg_4Ta_2O_9-0.4TiO_2$ 세라믹스의 X-선 회절 패턴.

Fig. 3 XRD patterns of the $0.6Mg_4Ta_2O_9-0.4TiO_2$ ceramics with sintering temperature.

그림 4는 소결온도에 따른 $(1-x)Mg_4Ta_2O_9-xTiO_2$ ($x=0, 0.3, 0.4$) 세라믹스의 미세구조를 나타내었다. 모든 조성에서 1400°C 및 소결온도에서 결정립 성장이 가장 잘 진행되었음을 알 수 있었다. 또한 1375°C 이하의 소결온도에서 치밀화가 덜 진행되어 다수의 기공이 나타났고, 1425°C 이상의 소결온도에서는 각입소결의 결과로 마이크로파 유전 특성을 저하시킬 수 있는 결정립 파괴와 불균일한 결정립 분포를 나타내었다. $MgTa_2O_9$ 세라믹스에 TiO_2 를 첨가함에 따라 치밀화는 촉진되었고, 평균입자크기는 $x=0$ 일 때 약 $6.6\mu m$, $x=0.3$ 일 때 약 $4.47\mu m$, $x=0.4$ 일 때 약 $3.65\mu m$ 로 각각 나타나 TiO_2 를 첨가함에 따라 결정립 성장이 억제되었다. 이것은 치밀화와 결정립 성장이 상호 경쟁적 관계이기 때문에 결정립 성장을 억제하는 것이 치밀화에 좋은 영향을 미치게 된다는 보고와 일치한다.[14,15] $x=0.3, 0.4$ 의 시편에서 1400°C 이상의 소결온도에서는 결정립의 비정상적인 성장만 있을 뿐 기공의 증가는 보이지 않기 때문에 밀도의 포화상태를 보일 것으로 생각된다.

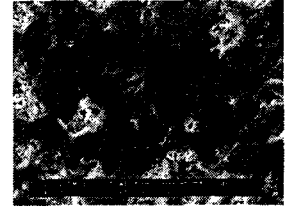
그림 5와 표 1은 $0.7Mg_4Ta_2O_9-0.3TiO_2$ 세라믹스 중에서 소결성이 가장 좋은 1400°C에서 소결한 시편의 결정립들의 조성을 규명하기 위하여 EDS(energy dispersive spectroscopy)를 이용하여 분석한 EDS 스펙트럼을 나타내었다. 결정립 성



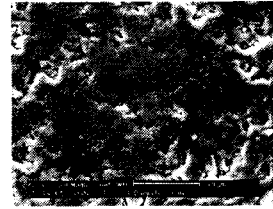
1375°C ($x=0$)



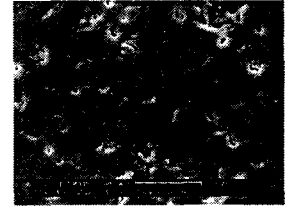
1400°C ($x=0$)



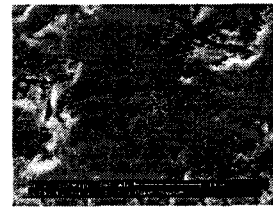
1425°C ($x=0$)



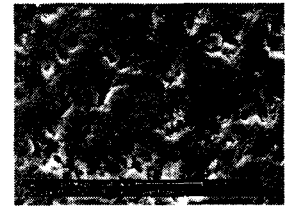
1375°C ($x=0.3$)



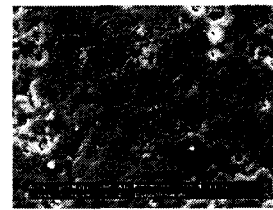
1400°C ($x=0.3$)



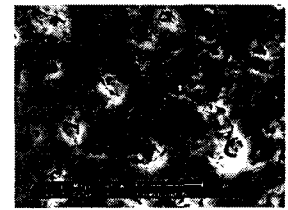
1425°C ($x=0.3$)



1375°C ($x=0.4$)



1400°C ($x=0.4$)



1425°C ($x=0.4$)

그림 4 소결온도에 따른 $(1-x)Mg_4Ta_2O_9-xTiO_2$ ($x=0, 0.3, 0.4$) 세라믹스의 미세구조.

Fig. 4 Microstructure of the $(1-x)Mg_4Ta_2O_9-xTiO_2$ ($x=0, 0.3, 0.4$) ceramics with sintering temperature.

장이 잘 된 부분과 잘 안된 부분을 각각 A 영역과 B 영역으로 구분하였다. 정량분석결과로부터 A 영역에는 주 상인 $Mg_4Ta_2O_9$ 상이 존재하고 B 영역에는 이차상인 $MgTi_2O_5$ 상이 존재하는 것으로 생각된다. $Mg_4Ta_2O_9$ 상이 존재하는 영역은

결정립 성장이 원활히 되었고, MgTi₂O₅상이 존재하는 영역은 결정립 성장이 잘 안된 것으로 보인다. 이러한 이차상의 존재는 그 결정구조(사방정계)가 주 상인 Mg₄Ta₂O₉상의 결정구조(육방정계)와 다르기 때문에 결정립 성장시 Mg₄Ta₂O₉상과 이차상사이의 결정 불일치를 나타낼 것으로 생각된다. 이것으로 이차상인 MgTi₂O₅상은 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0.3, 0.4) 세라믹스의 마이크로파 유전 특성에 악영향을 미칠 것으로 생각된다.

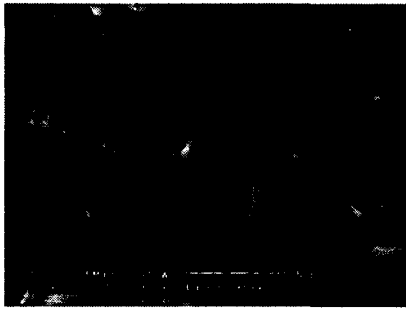


그림 5 1400°C에서 소결한 0.7Mg₄Ta₂O₉-0.3TiO₂ 세라믹스의 미세구조.

Fig. 5 Microstructure of the 0.7Mg₄Ta₂O₉-0.3TiO₂ ceramics sintered at 1400°C

표 1 A영역과 B영역의 정량분석.

Table 1 Quantitative analysis for the A-region and B-region.

Element	A		B	
	Wt%	At%	Wt%	At%
O K	8.92	33.87	9.93	36.78
MgK	15.36	38.39	14.89	36.29
TiK	2.46	3.13	2.54	3.14
TaK	73.26	24.61	72.64	23.79
Total	100	100	100	100

그림 6은 소결온도에 따른 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0.3, 0.4) 세라믹스의 밀도를 나타내었다. 모든 조성에서 1350°C ~ 1400°C의 소결온도 범위에서는 온도가 증가함에 따라 밀도의 증가를 나타내었다. 1425°C이상의 소결온도에서는 큰 변화없이 일정한 값을 나타내었다. 이것은 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0.3, 0.4) 세라믹스의 X-선 회절 패턴과 미세구조를 살펴본 것처럼 1400°C까지의 소결온도에서는 2차상인 MgTi₂O₅상이 감소하고 치밀화가 진행되어 기공이 감소하나, 1425°C의 소결온도에서는 기공 등이 1400°C와 큰 차이가 없었기 때문이라고 생각된다. 1375°C이후의 소결온도에서 0.6Mg₄Ta₂O₉-0.4TiO₂ 세라믹스의 밀도가 0.7Mg₄Ta₂O₉-0.3TiO₂ 세라믹스의 밀도보다 높은 값을 나타내었다. 이것은 소결 시 결정립의 치밀화를 향상시키는 역할을 하는 TiO₂의 첨가량이 증가한 결과로 사료된다.[16]

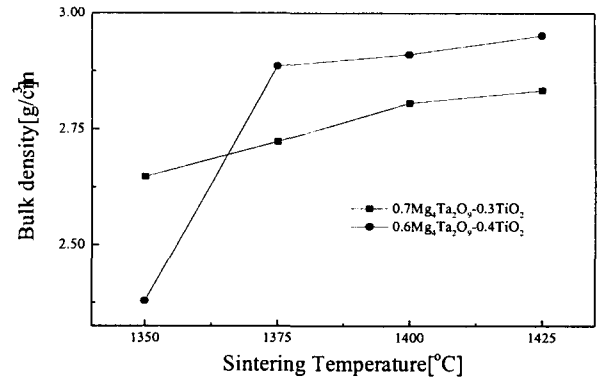


그림 6 소결온도에 따른 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0.3, 0.4) 세라믹스의 밀도.

Fig. 6 Density of the (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0.3, 0.4) ceramics with sintering temperature.

그림 7은 소결온도에 따른 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0.3, 0.4) 세라믹스의 유전율을 나타내었다. 두 조성 모두 소결온도가 증가함에 따라 유전율도 증가하는 것을 보여준다. 이것은 소결온도가 증가함에 따라 치밀화가 진행되고, 이차상인 MgTi₂O₅상이 감소하여 주 상인 Mg₄Ta₂O₉상과의 결정 불일치를 줄여 유전율 저하의 주요원인인 기공이 감소하기 때문으로 생각된다. 모든 소결온도 범위에서 0.6Mg₄Ta₂O₉-0.4TiO₂ 세라믹스의 유전율이 0.7Mg₄Ta₂O₉-0.3TiO₂ 세라믹스의 유전율보다 높은 값을 나타내었다. 이것은 100의 큰 값을 가지는 TiO₂ 첨가량의 증가로 인한 것으로 생각된다. 하지만 Mg₄Ta₂O₉(M.W. : 603.13)의 분자량에 비해 TiO₂(M.W. : 79.8988)의 분자량이 작기 때문에 평량식으로 구한 TiO₂의 첨가량이 미세하고 TiO₂가 MgTi₂O₅상으로($\epsilon_r = 17$) 존재하기 때문에 큰 영향을 미치지 못하여 순수한 Mg₄Ta₂O₉ 세라믹스의 유전율과는 큰 차이를 보이지 않는 것으로 사료된다.

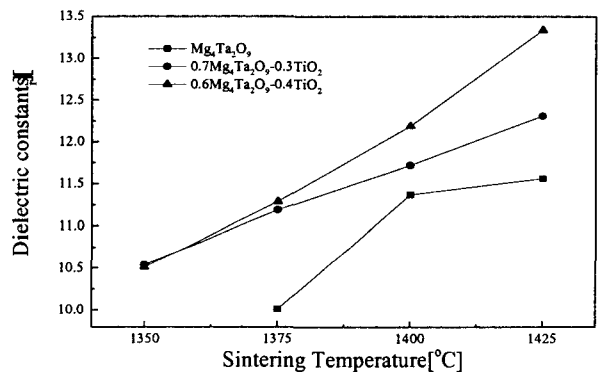


그림 7 소결온도에 따른 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0, 0.3, 0.4) 세라믹스의 유전율.

Fig. 7 Dielectric constants of the (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0, 0.3, 0.4) ceramics with sintering temperature.

그림 8은 소결온도에 따른 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0.3, 0.4) 세라믹스의 품질계수를 나타내었다. 품질계수는 재료내

의 손실을 유발하는 인자에 의해 좌우되며, 그 인자로는 구조적 결함과 미세구조 결함(기공, 결정립크기, 2차상)이 있다.[7,18] 두 조성 모두 소결온도가 증가함에 따라 이차상과 기공 등의 감소로 인한 소결밀도의 증가와 유사한 경향을 나타내었지만 1400℃ 이후의 온도에서 소결밀도는 증가하지만 품질계수는 급격히 감소함을 나타냈다. 이것은 1400℃ 이후의 소결온도에서 소결시 과잉소결의 결과로 결정립 크기의 불균형의 영향과 이차상인 MgTi₂O₅상의 존재로 인한 격자결함의 증가 때문이라고 생각된다. 1400℃에서 소결한 Mg₄Ta₂O₉ 세라믹스의 품질계수는 70,506 GHz 이었지만 0.7Mg₄Ta₂O₉-0.3TiO₂ 세라믹스와 0.6Mg₄Ta₂O₉-0.4TiO₂ 세라믹스는 각각 126,419GHz와 109,411GHz로 많이 향상된 품질계수를 가졌다. 이것은 소결시 치밀화를 증진시키는 것으로 알려져 있는 TiO₂의 첨가에 따른 소결밀도의 증가에 의한 것으로 사료된다.

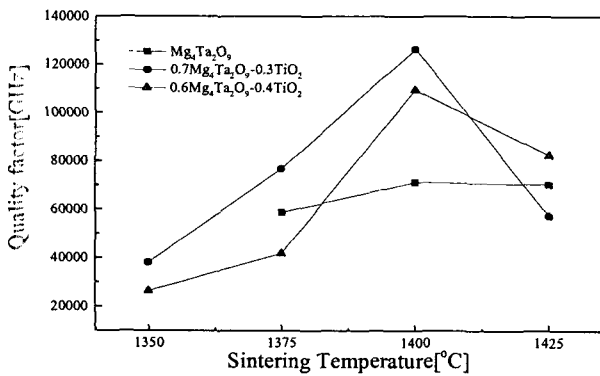


그림 8 소결온도에 따른 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂ (x=0, 0.3, 0.4) 세라믹스의 품질계수.

Fig. 8 Quality factor of the (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂ (x=0, 0.3, 0.4) ceramics with sintering temperature.

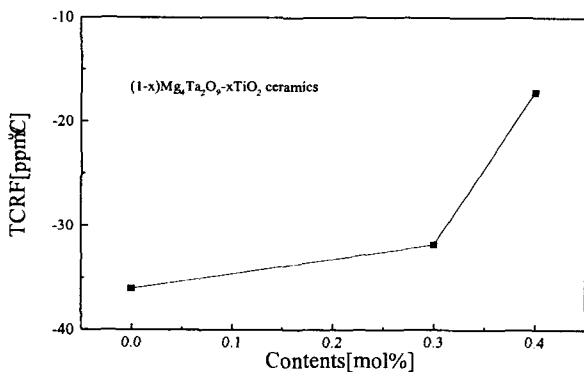


그림 9 TiO₂첨가량에 따른 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂ 세라믹스의 온도계수.

Fig. 9 TCRF of the (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂ ceramics with addition of TiO₂.

그림 9는 TiO₂첨가량에 따른 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0, 0.3, 0.4) 세라믹스의 온도계수를 나타내었다. Mg₄Ta₂O₉ 세라

믹스의 온도계수(Temperature Coefficient of Resonant Frequency)는 -36.02 ppm/℃의 높은 음의 값을 나타내었고, 1400℃에서 소결한 0.7Mg₄Ta₂O₉-0.3TiO₂ 세라믹스와 0.6Mg₄Ta₂O₉-0.4TiO₂ 세라믹스의 온도계수는 각각 -31.82 ppm/℃와 -17.21 ppm/℃을 나타냈다. 이것은 높은 양의 온도계수를 가지는 TiO₂(+450 ppm/℃)의 첨가에 의하여 온도계수가 보정된 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 우수한 Q×f값을 갖는 조성으로 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0, 0.3, 0.4)계 세라믹스를 소결온도를 달리하여 제조한 후, 마이크로파 유전 특성에 대해 고찰하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0.3, 0.4)계 세라믹스의 X-선 회절 분석결과 주 상으로 Mg₄Ta₂O₉상이 존재하였으며, 이차 상으로 MgTi₂O₅상이 나타났다. 소결온도가 증가함에 따라 치밀화가 증가하고 이차상이 감소하여 Mg₄Ta₂O₉상(육방정계)과 MgTi₂O₅상(사방정계)의 결정구조의 차이로 인해 발생하는 결정 불일치가 줄어들어 기공이 감소하여 유전율이 증가하였다.
- (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂(x=0.3, 0.4)계 세라믹스의 품질계수는 TiO₂의 첨가에 의하여 순수한 Mg₄Ta₂O₉ 세라믹스보다 우수한 값을 나타내었다. 또한 모든 조성에서 1400℃까지의 소결온도에서 온도가 증가함에 따라 품질계수가 증가하였지만 1425℃의 소결온도에서는 과잉소결에 의한 결정립의 불균형 등의 원인으로 품질계수가 감소하였다.
- 1400℃에서 소결한 0.7Mg₄Ta₂O₉-0.3TiO₂ 세라믹스와 0.6Mg₄Ta₂O₉-0.4TiO₂ 세라믹스의 유전율, 품질계수, 온도계수는 각각 11.72, 126,419GHz, -31.82 ppm/℃와 12.19, 109,411GHz, -17.21 ppm/℃ 이었다.

결과적으로 순수한 Mg₄Ta₂O₉ 세라믹스보다 향상된 품질계수와 온도계수를 가지는 (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂ (x=0.3, 0.4)계 세라믹스의 마이크로파 유전 특성을 얻을 수 있었다. 그러나 TiO₂의 첨가량이 증가함에 따라 온도계수는 개선되었지만 품질계수가 감소하는 현상을 확인할 수 있었으며, (1-x)Mg₄Ta₂O₉-xTiO₂계 세라믹스를 마이크로파용 유전체 재료로 사용하기 위해서는 품질계수의 감소 없이 온도계수를 "0"에 가까운 값으로 개선하는 실험이 계속되어야 할 것으로 생각한다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

[1] N. Negas, G. Yeager, S. Bell, and R. Amren, "Chemistry and Properties of Temperature Compensated Microwave Dielectric". NIST spec. publ. 804, in Chemistry of Electronic Ceramic Materials, pp.21, 1991.

[2] E. Nagata, J. Tanaka, M. Tsutumi and E. Bannai, "Distribution of Calcium Ion in the Crystal of MgTiO₃-CaTiO₃ System". Bull. Chem. Soc. Jpn., 56, pp.3173~3174, 1983.

[3] D. Kolar and D. Suvorov, "High Permittivity Microwave Ceramics", Eur. J. Solid State Inorg. Chem., 32, pp.751~760, 1995.

[4] H. Sata, K. Aynsawa, M. Sato, K. Kawamura, I. Kawakami and K. Nihei, Proc. 3rd IEE IEMT Symp. pp.149, 1987.

[5] K. Wakino, T. Minai and H. Ichimura, J. Am. Ceram. Soc. 67, 278, 1984.

[6] Y. Konishi, Proc. IEEE 79, pp.725, 1991.

[7] 최의선, 이문기, 류기원, 배선기, 이영희, "소결온도에 따른 0.9MgTiO₃-0.1SrTiO₃ 세라믹스의 구조 및 마이크로 파유전특성", 대한전기학회논문지, Vol. 49, No.5, pp.294~298, 2000.

[8] 최의선, 정장호, 류기원, 이영희, "소결온도와 Sr몰비에 따른 Mg_{1-x}Sr_xTiO₃ 세라믹스의 구조 및 마이크로파 유전특성", 대한전기학회논문지, Vol. 50, No.5, pp.226~231, 2001

[9] 최의선, 이문기, 류기원, 이영희, "소결온도에 따른 MgTiO₃-SrTiO₃ 세라믹스의 구조적 특성", 대한전기학회 추계 학술대회, pp.953-955, 1999.

[10] B. W. Hakki, "A Dielectric Resonator Method of Measuring Inductive Capacities in the Millimeter Range", IRE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-24, No.10, 1960.

[11] Y. Kobayashi, "Microwave Measurement of Dielectric Properties of Low-Loss Materials by the Dielectric Rod Resonator Method", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-33, No.8, 1985.

[12] S.H. Ra, P.P. Phule, J. Mater. Res. 14, pp.4259, 1999.

[13] K. Wakino, "Ferroelectrics", 91, pp.61, 1989.

[14] C. Herring, "Effect of Change of Scale on Sintering Phenomena", J. Appl. Phys., 21(3), pp.301~303, 1950.

[15] R. L. Coble, "Sintering Crystalline Solids. I. Intermediate and Final State Diffusion Models", J. Appl. Phys., 32(5), pp.787~792, 1961.

[16] 정성경, 김봉철, 장세홍, 김정주, "TiO₂ 첨가에 따른 ITO 세라믹스의 소결 거동", J. Kor. Ceram. Soc. 35, [4] pp.347-54, 1998.

[17] W. D. Kingery, H. K. Bowen and D. R. Uhlmann, "Introduction to Ceramics", John Wiley & Sons, Second edition, pp.937-945, 1976.

[18] H. Tamura, "Microwave Loss Quality of (Zr_{0.8}Sn_{0.2}) TiO₄ Ceramics", Am. Ceram. Soc. Bull., 73(10), pp.92-95, 1994

저 자 소 개



김 재 식(金 再 植)

2003년도 광운대 전자정보대 반도체 및 신소재공학과 졸업. 현재 동 대학원 전자재료 공학과 석사과정
Tel : 02-940-5164
E-mail : hulhaha@kw.ac.kr



최 의 선(崔 儀 善)

1998년 서남대 공대 전자공학과 졸업. 2000년 광운대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자재료공학과 박사과정
Tel : 02-940-5164
E-mail : sunsee@kw.ac.kr



이 문 기(李 文 其)

1994년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1997년 광운대 산업정보대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 현재 광운대학교 대학원 전자재료공학과 박사과정
Tel : 02-940-5164
E-mail : hayoung@kw.ac.kr



이 영 희(李 永 熙)

1973년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1975년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 광운대 공대 전자재료공학과 교수
Tel. 02-940-5164, Fax : 02-915-8084
E-mail : yhlee@daisy.kw.ac.kr