

# 소결온도에 따른 $Mg_5B_4O_{15}$ (B=Ta, Nb)세라믹스의 구조 및 마이크로파 유전특성

論 文

56-3-16

## Structural and Microwave Dielectric Properties of the $Mg_5B_4O_{15}$ (B=Ta, Nb) Ceramics with Sintering Temperature

李承俊<sup>†</sup> · 金再植<sup>\*</sup> · 李成甲<sup>\*\*</sup> · 李永熙<sup>\*\*\*</sup>

(Sung-Jun Lee · Jae-Sik Kim · Sung-Gap Lee · Young-Hie Lee)

**Abstract** - In this study, both structural and microwave dielectric properties of the  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) cation-deficient perovskite ceramics with sintering temperature were investigated. All sample of the  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) ceramics were prepared by the conventional mixed oxide method and sintered at 1400°C ~ 1500°C. The bulk density and quality factor of the  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) ceramics were increased with increasing sintering temperature in the range of 1400°C ~ 1450°C, but these were decreased the sintering temperature of above 1450°C. The dielectric constant of the  $Mg_5Ta_4O_{15}$  ceramics was increased continuously with increasing sintering temperature. And the dielectric constant of the  $Mg_5Nb_4O_{15}$  ceramics was increased in as the sintering temperature increases from 1400°C ~ 1450°C but was decreased at the temperatures above 1475°C. In the case of the  $Mg_5Ta_4O_{15}$  and  $Mg_5Nb_4O_{15}$  ceramics sintered at 1450°C for 5h, the dielectric constant, quality factor, and temperature coefficient of the resonant frequency (TCRF) were 8.2, 259,473 GHz, -10.91 ppm/°C and 14, 37,350 GHz, -52.3 ppm/°C, respectively.

**Key Words** : cation-deficient perovskite,  $Mg_5Ta_4O_{15}$ ,  $Mg_5Nb_4O_{15}$ , quality factor

### 1. 서 론

최근 정보통신의 발달에 따라 마이크로파 구성요소로 사용되는 유전체 세라믹스 소자에 대한 관심이 증대되어 마이크로파 유전체 세라믹스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. 이들 유전체 세라믹스 소자는 그 사용 용도상 소자의 소형화, 우수한 주파수 선택성, 온도에 안정한 소자 구현 등을 위하여 큰 유전상수 ( $\epsilon_r$ ), 높은 품질계수( $Q \times f_r$ ), "0"에 가까운 공진주파수의 온도계수(TCRF,  $\tau_f$ )와 같은 마이크로파 유전특성을 갖추어야 한다. 유전체 세라믹스 소자의 크기는  $\lambda \cdot k^{-1/2}$  ( $\lambda$  : wavelength,  $k$  : dielectric constant)에 비례하기 때문에 소자의 크기를 줄이기 위하여 1990년대 초에는  $BaO-Re_2O_3$ 와  $(Pb_{1-x}Ca_x)ZrO_3$ 와 같은 높은 유전율(약 100)을 가지는 물질에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 그러나 최근에는 이동 통신기기 사용의 급격한 증가로 인한 많은 사용자를 수용하기 위해 사용주파수가 고주파대역으로 이동하게 되었다. 포논 주파수 이하에서는 ( $f \leq 100$  GHz) 내부 유전 손실이 주파수에 비례하여 커지기 때문에 마이크로파 대역에서는 높은 유전상수보다 높은 품질계수(quality factor,  $Q \approx \tan \delta^{-1}$ )특성을 중요시 여기게 되었다[2]. 따라서 고주파 대역에서 우수한 품질계수를 가지는 재료에 대한 연구가 요

구되었고, 높은 품질계수의 특성을 가지는 물질로  $MgTiO_3$ ,  $SrTiO_3$  와 같은 복합 페로브스카이트 구조를 가지는 재료에 대한 연구가 진행되었다[3, 4]. 최근에는 복합 페로브스카이트 구조에서 약간 변형된 Cation-deficient 페로브스카이트 구조가 많은 주목을 받고 있다. 이 구조는  $A_5B_4O_{15}$ 의 화학식을 가지고 있어 페로브스카이트구조인  $ABO_3$  화학식으로 줄여 쓰면  $AB_{0.8}O_3$ , 즉 음이온 B의 자리가 부족한 형태가 되어서 Cation-deficient 페로브스카이트 구조라 불린다[5]. Galasso 등의 연구에 의하여 Cation-deficient 페로브스카이트 구조를 가지는  $Ba_5Ta_4O_{15}$ ,  $Ba_5Nb_4O_{15}$  그리고  $Sr_5Ta_4O_{15}$ 의 존재 및 결정구조가 처음 발표되었다[6].

본 논문에서는 높은 품질계수를 가지는 재료 개발을 위하여 Cation-deficient 페로브스카이트 구조를 가지는 물질 중에서  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스와  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스의 소결특성을 고찰하고 소결온도에 따른 구조 및 마이크로파 유전특성을 조사하였다.

### 2. 시편의 제조 및 측정

#### 2.1 시편의 제조

본 연구에서는 일반적인 산화물 혼합법으로  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) 세라믹스를 제조하였다. 출발물질로는  $MgO$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $Nb_2O_5$  (high-purity, 99.9%)를 사용하였다.  $MgO$ ,  $Ta_2O_5$ ,  $Nb_2O_5$ 를  $Mg_5Ta_4O_{15}$ 와  $Mg_5Nb_4O_{15}$ 의 화학식량에 맞게 평량한 후 알코올을 분산매로 사용하여 지르코니아볼로 24시간동안 혼합 분쇄하였다. 혼합 분쇄한 분말을 100°C 전기오븐에서 24시간동안 건조한 후 알루미늄 도가니에 넣어 1200°C ~ 1325°C의 온도범위에서 3시간 동안 하소하였다.

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 光云大學 電子材料工學科 碩士課程  
E-mail : jinnatas@nate.com

<sup>\*</sup> 正會員 : 光云大學 電子材料工學科 博士課程

<sup>\*\*</sup> 正會員 : 慶尙大學 세라믹工學科 副教授 · 工博

<sup>\*\*\*</sup> 正會員 : 光云大學 電子材料工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2006年 8月 24日

最終完了 : 2006年 12月 18日

1275°C에서 하소한 Mg<sub>5</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 분말과 1325°C에서 하소한 Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 분말을 알코올을 분산매로 사용하여 지르코니아 불로 12시간동안 재혼합 분쇄하였으며, 24시간동안 건조 후 #100 mesh로 채치기하였다. 분말을 원통형 금형(Φ=10mm)에 넣고 1ton/cm<sup>2</sup>의 압력을 가하여 성형하였다. 성형한 시편을 전기로에 넣고 1400°C~1500°C의 온도범위에서 5시간동안 소결하였다. 하소 및 소결시 전기로의 온도 상승률은 5°C/min.으로 하였다.

2.2. 측정

소결온도에 따른 결정구조의 변화 및 고용체 형성과정을 고찰하고자 X-선 회절분석을 하였다. X-선은 CuKα<sub>1</sub>(λ=1.542Å)을 사용하였으며, 스텝 폭과 주사속도는 각각 0.05deg., 5deg./min.로 하였다. 시편의 소결상태를 알아보기 위해 Archimedes method를 이용하여 밀도를 측정하였다.

마이크로파 유전특성은 양면을 거울면 연마한 실린더형 시편들에 대하여 Hakki와 Coleman에 의해 제시되고 Kobayashi 등이 보정한 평판형 공진기법(parallel plate method)으로 HP8757D Vector Analyzer를 이용하여 유전상수(ε<sub>r</sub>)와 무부하 Q값을 측정하였고[7], 투과모드의 캐비티 공진기법(cavity resonator method)으로 공진주파수의 온도계수(τ<sub>f</sub>)값을 측정하였다[8]. 그리고 τ<sub>f</sub>값은 25°C와 85°C에서 측정된 주파수를 식(1)을 이용하여 계산하였다.

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

3. 결과 및 고찰

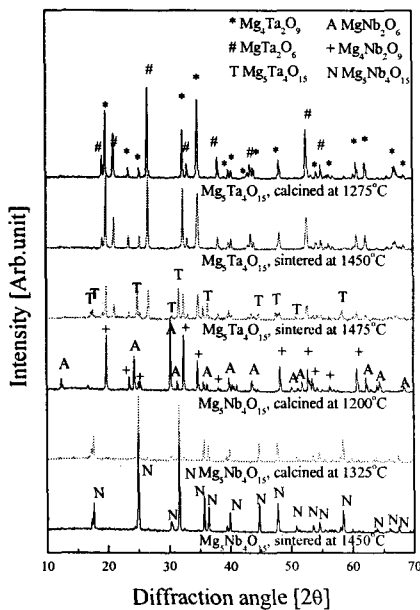


그림 1 소결온도에 따른 Mg<sub>5</sub>B<sub>4</sub>O<sub>15</sub> (B=Ta, Nb) 세라믹스의 X-선 회절 패턴

Fig. 1 XRD patterns of Mg<sub>5</sub>B<sub>4</sub>O<sub>15</sub> (B=Ta, Nb) ceramics.

그림 1은 소결 및 하소 온도에 따른 Mg<sub>5</sub>B<sub>4</sub>O<sub>15</sub> (B=Ta, Nb) 세라믹스의 X-선 회절 패턴을 나타내었다. Mg<sub>5</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 세라믹스의 경우 모든 하소온도와 1400°C~1450°C의 소결온도에서 Mg<sub>4</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> 상과 MgTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 상이 나타났다. 1475°C의 소결온도에서부터 Mg<sub>5</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 상이 나타났고, 온도가 증가함에 따라 Mg<sub>5</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 상의 회절 강도가 증가하였다. 1475°C 이상의 소결온도에서 Mg<sub>5</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 상의 형성은 높은 소결온도에 의한 충분한 열에너지의 공급으로 Mg<sub>4</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> 상과 MgTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 상이 반응에 의한 것으로 생각된다. Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 세라믹스의 경우, 1225°C 이하의 하소온도에서는 Mg<sub>4</sub>Nb<sub>2</sub>O<sub>9</sub> 상과 MgNb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 상이 공존하였지만, 온도가 증가함에 따라 Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 상이 형성되었고 1325°C의 하소온도에서는 Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub>의 단일상이 형성되었다. 모든 소결온도에서 Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub>의 단일상이 나타났고 온도가 증가함에 따라 Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 상의 회절 강도가 증가하였다. Mg<sub>5</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 세라믹스와 Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 세라믹스에서 상들의 존재는 각각 MgO-Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 계와 MgO-Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 계의 상평형도에 대한 보고와 일치한다[9, 10].

그림 2는 소결된 Mg<sub>5</sub>B<sub>4</sub>O<sub>15</sub> (B=Ta, Nb) 세라믹스의 미세구조 및 결정립 성장을 확인하기 위하여 측정된 SEM 이미지를 나타내었다. Mg<sub>5</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 세라믹스의 경우 1450°C의 소결온도에서 가장 치밀한 미세구조를 나타내었다. 1400°C~1425°C의 소결온도에서는 낮은 소결온도로 인하여 Mg<sub>4</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> 상과 MgTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 상의 치밀화가 충분히 진행되지 않았기 때문에 다수의 기공이 나타나는 것으로 생각된다. 소결온도가 증가함에 따라 Mg<sub>4</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> 상과 MgTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 상의 치밀화가 증가하여 기공이 감소하고 치밀한 구조를 나타내는 것으로 생각된다. 그러나 1475°C~1500°C의 소결온도에서는 기공이 다소 증가하였다. 이 현상은 1475°C의 소결온도부터 형성되기 시작하는 Mg<sub>5</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 상이 높은 소결온도를 가지기 때문에 1475°C~1500°C의 소결온도범위에서 치밀화가 충분히 진행되지 않았기 때문으로 생각된다. 또한 모든 소결온도에서 존재하는 Mg<sub>4</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> 상과 MgTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 상이 1475°C~1500°C의 소결온도에서 과잉소결에 의한 기공이 증가하는 것으로 생각된다. Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 세라믹스의 경우 1450°C의 소결온도에서 가장 치밀한 미세구조를 나타내었다. 1400°C~1450°C의 소결온도에서는 낮은 소결온도로 인하여 Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 상의 치밀화가 충분히 진행되지 않았기 때문에 다수의 기공이 나타나는 것으로 생각된다. 소결온도가 증가함에 따라 Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 상의 치밀화가 증가하여 기공이 감소하고 치밀한 구조를 나타내는 것으로 생각된다. 1450°C이상의 소결온도에서 Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 상의 과잉소결에 의한 과잉성장 때문에 기공 형성이 형성되어 밀도가 감소하는 것으로 생각된다.

그림 3은 소결온도에 따른 Mg<sub>5</sub>B<sub>4</sub>O<sub>15</sub> (B=Ta, Nb) 세라믹스의 밀도를 나타내었다. B-site의 Ta와 Nb는 0.68Å, 0.69Å의 거의 동일한 이온반경을 가지고 있지만 180.948, 92.906이라는 원자량을 가진다. 이 원자량의 차이에 의해 동일한 구조를 가지는 Mg<sub>5</sub>Nb<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 세라믹스와 Mg<sub>5</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 세라믹스가 그림 3과 같은 밀도의 차이를 나타낸 것으로 생각된다. 소결온도가 증가함에 따라 밀도가 증가하였고 1450°C 이후의 소결온도에서 감소하였다. 이것은 소결온도가 증가함에 따라 Mg<sub>5</sub>B<sub>4</sub>O<sub>15</sub> (B=Ta, Nb) 세라믹스의 치밀화가 증가되어 밀도가 증가하는 것으로 생각된다. 하지만 Mg<sub>5</sub>Ta<sub>4</sub>O<sub>15</sub> 세라믹스의 경우 Mg<sub>4</sub>Ta<sub>2</sub>O<sub>9</sub> 상과 MgTa<sub>2</sub>O<sub>6</sub> 상의 과잉소결과

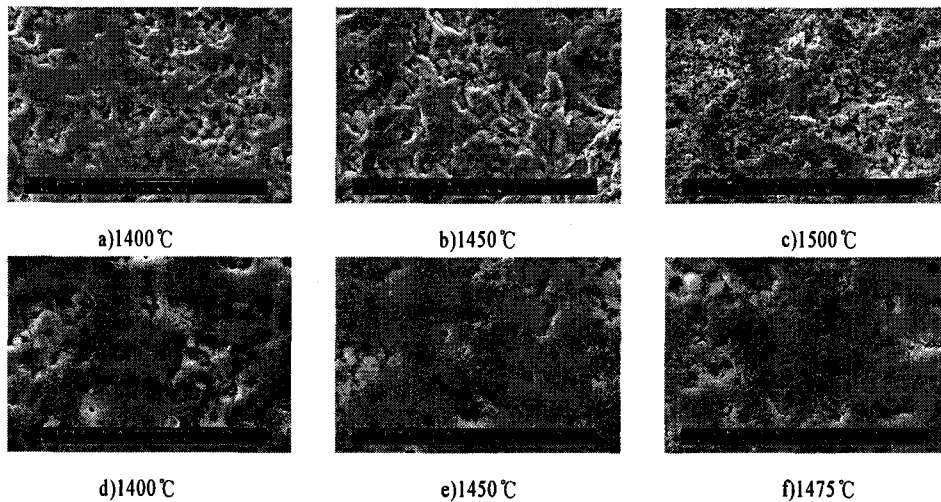


그림 2 소결온도에 따른  $Mg_5B_4O_{15}$  ( $B=Ta, Nb$ ) 세라믹스의 미세구조 :  $Mg_5Ta_4O_{15}$  : (a), (b), (c).  $Mg_5Nb_4O_{15}$  : (d), (e), (f)  
 Fig. 2 Microstructure of the  $Mg_5B_4O_{15}$  ( $B=Ta, Nb$ ) ceramics with sintering temperature. :  $Mg_5Ta_4O_{15}$  : (a), (b), (c).  $Mg_5Nb_4O_{15}$  : (d), (e), (f)

$Mg_5Ta_4O_{15}$  상의 충분하지 못한 치밀화로 인하여 1450°C 이상의 소결온도에서 밀도가 감소하는 것으로 생각된다. 또한  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스의 경우  $Mg_5Nb_4O_{15}$  상의 과잉소결에 의한 과잉성장 때문에 기공 형성이 형성되어 1450°C 이상의 소결온도에서 밀도가 감소하는 것으로 생각된다.

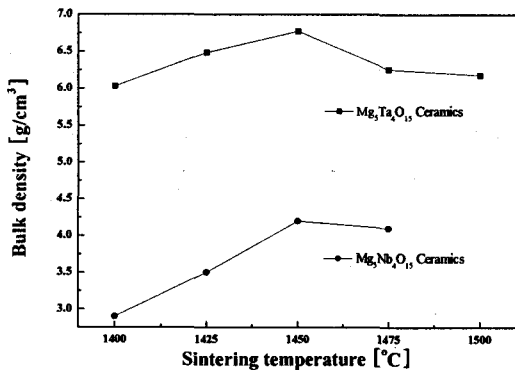


그림 3 소결온도에 따른  $Mg_5B_4O_{15}$  ( $B=Ta, Nb$ ) 세라믹스의 벌크 밀도  
 Fig. 3 Bulk density of the  $Mg_5B_4O_{15}$  ( $B=Ta, Nb$ ) ceramics with sintering temperature.

그림 4는 소결온도에 따른  $Mg_5B_4O_{15}$  ( $B=Ta, Nb$ ) 세라믹스의 유전상수를 나타내었다.  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스의 유전상수가  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스의 유전상수보다 높은 값을 나타내었다. 이것은 동일한 구조에서 Nb에 비해 더 큰 이온분극을 가지는 Ta가 포함된  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스가 더 높은 유전상수를 가질 것이라는 예상과 반대의 결과이다. S.Pagola 등의 연구에서[11],  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스의 격자는 상대적으로 안정적인 구조를 가지기 때문에  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스의 유전상수가  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스의 유전상수보다 높은 값을 나타내었다고 생각된다.  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스의 경우 밀도와 유사한 경향을 나타내며 1450°C의 소결온도에서 최대 유전

상수를 나타내었다. 1450°C까지의 유전상수의 증가는 그림 2와 3에서 알 수 있듯이 소결온도가 증가함에 따라 치밀화가 증진되어 기공이 감소하였기 때문으로 생각된다. 1450°C 이상의 소결 온도에서의 유전상수의 감소는 시편의 과잉 소결에 의한 결정립 파괴와 불균일한 결정립 분포로 인하여 이러한 결과를 나타낸 것으로 생각된다. 하지만  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스는 밀도의 경향과 상관없이 소결온도의 증가에 따라 지속적인 유전상수의 증가를 나타내었다. 1450°C 이하의 소결온도에서는  $Mg_4Ta_2O_9$  상과  $MgTa_2O_6$  상의 치밀화가 증가함에 따라 기공이 감소하기 때문에 유전상수가 증가하는 것으로 생각된다. 그러나 1475°C 이상의 소결온도에서의 유전상수는 기공의 존재보다는  $Mg_5Ta_4O_{15}$  상의 형성에 의하여 결정되는 것으로 생각된다[12].  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스는 1475°C~1500°C의 소결온도에서 다소의 기공을 형성하지만  $Mg_5Ta_4O_{15}$  상이  $Mg_4Ta_2O_9$ ,  $MgTa_2O_6$  상보다 높은 유전상수를 가지기 때문에 시편의 밀도는 감소하지만 유전상수는 증가하는 것으로 생각된다.

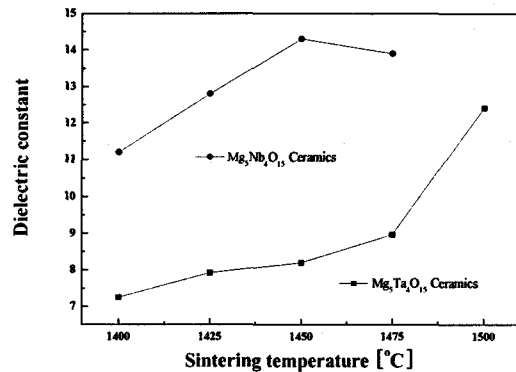


그림 4 소결온도에 따른  $Mg_5B_4O_{15}$  ( $B=Ta, Nb$ ) 세라믹스의 유전상수  
 Fig. 4 Dielectric constant of the  $Mg_5B_4O_{15}$  ( $B=Ta, Nb$ ) ceramics with sintering temperature.

그림 5는 소결온도에 따른  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) 세라믹스의 품질계수를 나타내었다. 각 세라믹스의 품질계수는 그림 4의 소결 밀도와 유사한 경향을 나타내며 1450°C의 소결 온도에서 최대값을 나타내었다. 품질계수는 구조적 결함과 기공, 2차상 등의 미세구조 결함에 의해 결정된다[13]. 상대적으로 안정적인 구조를 가지는  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스의 품질계수가  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스의 품질계수보다 높은 값을 나타내었다고 생각된다. 소결온도가 증가함에 따라  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스의 경우  $Mg_4Nb_2O_9$  상과  $MgNb_2O_6$  상의 치밀화 증가로 인한 기공의 감소로 품질계수가 증가하는 것으로 생각된다.  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스의 경우  $Mg_4Ta_2O_9$  상과  $MgTa_2O_6$  상의 치밀화 증가로 인한 기공의 감소로 품질계수가 증가하는 것으로 생각된다. 그러나 1475°C 이상의 소결 온도에서는 품질계수의 감소가 나타났다. 이는 높은 소결 온도로  $Mg_4Ta_2O_9$  상과  $MgTa_2O_6$  상이 과잉 성장하여 미세구조 결함이 증가하고  $Mg_5Ta_4O_{15}$  상의 충분하지 못한 치밀화로 인하여 이러한 결과를 나타낸 것으로 생각된다.

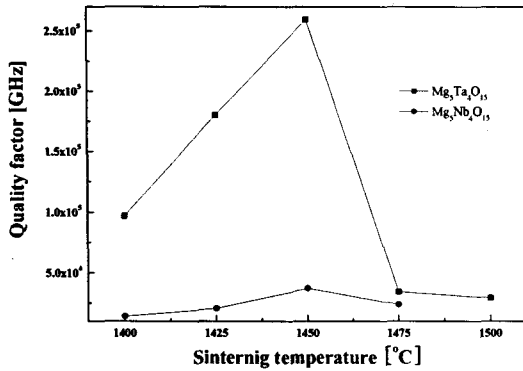


그림 5 소결온도에 따른  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) 세라믹스의 품질계수

Fig. 5 Quality Factor of the  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) ceramics with sintering temperature.

표 1  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) 세라믹스의 마이크로파 유전 특성

Table 1 Microwave Dielectric Properties of the  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) Ceramics.

	유전상수	품질계수 [GHz]	공진주파수의 온도계수 [ppm/°C]
$Mg_5Ta_4O_{15}$ ceramics sintered at 1450°C	8.2	259,473	-10.91
$Mg_5Nb_4O_{15}$ ceramics sintered at 1450°C	14	37,350	-52.3

표 1에 1450°C에서 5시간동안 소결한  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) 세라믹스의 마이크로파 유전 특성을 나타내었다.  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스와  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스 공진주파수의 온도계수는 각각 -10.91 ppm/°C와 -52.3 ppm/°C를 나타내었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) 세라믹스의 소결 온도를 달리하여 제조한 후, 구조 및 마이크로파 유전 특성에 대해 고찰하였으며 다음과 같은 결과를 얻었다.

1.  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스의 X-선 회절 분석결과  $Mg_4Ta_2O_9$  상과  $MgTa_2O_6$  상이 공존하였다. 또한 1475°C의 소결 온도에서  $Mg_5Ta_4O_{15}$  상이 나타났고, 온도가 증가함에 따라 회절 강도가 증가하였다.  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스의 경우 1325°C의 하소 온도에서  $Mg_5Nb_4O_{15}$ 의 단일상이 형성 되었다.

2.  $Mg_5B_4O_{15}$  (B=Ta, Nb) 세라믹스의 밀도와 품질계수는 소결 온도의 증가에 따라 증가하다가 1450°C 이후의 소결 온도에서는 감소하였다.

3.  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스의 유전상수는 소결 온도가 증가함에 따라 지속적인 증가를 나타내었고,  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스는 밀도와 유사한 경향을 나타내었다.

4. 1450°C에서 5시간 동안 소결한  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스와  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스 유전상수, 품질계수, 공진주파수의 온도계수는 각각 8.2, 259,473 GHz, -10.91 ppm/°C 그리고 14, 37,350 GHz, -52.3 ppm/°C 이었다.

이상의 결과로  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스와  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스에서 높은 품질계수를 확인하였고,  $Mg_5Ta_4O_{15}$  세라믹스는 고주파 대역에서 동작하는 마이크로파용 유전체 재료의 응용이 가능할 것으로 생각된다.  $Mg_5Nb_4O_{15}$  세라믹스를 마이크로파용 유전체 재료로 사용하기 위해서는 품질계수를 저하시키지 않으면서 TCRF를 "0"에 가까운 값으로 개선하는 연구가 이루어져야 할 것으로 생각한다.

#### 감사의 글

이 논문은 2006년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] D. Kolar and D. Suvorov, "High Permittivity Microwave Ceramics", Eur. J. Solid State Inorg. Chem, 32, pp.751-760, 1995.
- [2] K. Wakino, D. A. Sagala and H. Tamura, Proc. 6th Int. Meet. Ferroelectricity, Kobe, Jpn. J. Appl. Phys, 24, pp.1042, 1985.
- [3] 최의선, 이문기, 류기원, 배전기, 이영희, "소결 온도에 따른  $0.9MgTiO_3-0.1SrTiO_3$  세라믹스의 구조 및 마이크로파 유전 특성", 대한전기학회논문지, Vol. 49, No. 5, p.294, 2000.
- [4] 최의선, 정장호, 류기원, 이영희, "소결 온도와 Sr몰비에 따른  $Mg_{1-x}Sr_xTiO_3$  세라믹스의 구조 및 마이크로파 유전 특성", 대한전기학회논문지, Vol. 50, No.5, pp.226~231, 2001

[5] R. Ratheesh, H. Sreemoolanadhan, and M. T. Sebastian, "Vibrational Analysis of  $Ba_{5-x}Sr_xNb_4O_{15}$  Microwave Dielectric Ceramic Resonators", J. Solid State Chem., 131, Issue 1, pp.2-8, 1997.

[6] F. Galasso, L. Katz, "Preparation and structure of  $Ba_5Ta_4O_{15}$  and related compounds", Acta Cryst., Vol. 14, pp.647, 1961.

[7] B. W. Hakki et al., "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.

[8] J. Krupka, K. Derzakowsky, B. Riddle, and JB Jarvis, "A Dielectric Resonator for Measurements of Complex Permittivity of Low Loss Dielectric Materials as Function of Temperature," Meas. Sci. Technol., 9, pp.1751-1761, 1998.

[9] D. C. Baskin, Y. Chell, "Phase studies in the binary system  $MgO-Ta_2O_5$ ", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 46, No. 4, pp.174, 1963.

[10] R. Norin, C. G. Arbin, and B. Nalander, "Note on the phase composition of  $MgO-Nb_2O_5$  system", Acta Chim. Scand. 26, pp.3389-3390, 1972.

[11] S. Pagola, R. E. Carbonio, "Crystal Structure Refinement of  $Mg_5Nb_4O_{15}$  and  $Mg_5Ta_4O_{15}$  by Rietveld Analysis of Neutron Powder Diffraction Data", J. Solid State Chem, 137, pp.359-364, 1998

[12] S. H. RA, P. P. Phule, "Processing and microwave dielectric properties of barium magnesium tantalate ceramics for high-quality-factor personal communication service filters", J. Mater. Res. 14, pp.4259-4265, 1999.

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



**이 성 갑 (李 成 甲)**

1985년 광운대학교 전자재료공학과 졸업.  
 1987년 동 대학원 전자재료공학과 졸업 (석사).  
 1992년 동 대학원 전자재료공학과 졸업 (박사).  
 현재 경상대학교 세라믹 공학과 부교수.  
 Tel : 055-751-5333  
 E-mail : lsgap@gsnu.ac.kr



**이 영 희 (李 永 熙)**

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

**저 자 소 개**



**이 승 준 (李 承 俊)**

2005년도 광운대 전자정보대 전자재료 공학과 졸업. 현재 광운대 대학원 전자재료 공학과 석사과정  
 Tel : 02-940-5164  
 E-mail : jinnatas@nate.com



**김 재 식 (金 再 植)**

2003년도 광운대 전자정보대 반도체 및 신소재공학과 졸업. 2005년도 광운대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자재료 공학과 박사과정  
 Tel : 02-940-5164  
 E-mail : hulhaha@kw.ac.kr