

비방사유전체선로에 삽입되는 $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ 세라믹스 공진기에 관한 연구박혜영, 이주신
경성대학교A study on $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ ceramics resonator for Nonradiative Dielectric waveguide.Hye-Young Park, Ju-Sin Lee
Kyung-Sung University

Abstract - 5 mol% $BaWO_4$ 를 첨가시켜 합성한 $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ 를 이용하여 비방사유전체선로에 삽입되는 세라믹스 공진기를 제작하고 기존의 $MgTiO_3$ - $CaTiO_3$ 계 세라믹스 공진기와 공진특성을 비교하여 그 특성을 고찰하였다. 그 결과 BMT 세라믹스는 기존의 $MgTiO_3$ - $CaTiO_3$ 계 세라믹스보다 품질계수가 2배 이상 크게 높게 측정되었고, 측정 사진의 관찰 결과 전파차단성도 우수할 것으로 예상되기 때문에 BMT가 비방사유전체선로에 삽입되는 유전체 공진기 재료로서 적용될 경우 우수한 공진특성을 발휘할 것으로 판단된다.

1. 서 론

최근 통신 정보망이 증가함에 따라 위성통신 및 무선 전화기 등 마이크로파(300 MHz~300 GHz)를 이용한 통신 시스템이 크게 발전하고 있다. 하지만 상용주파수 대역이 고주파로 이동함에 따라 주파수 손실이 증가하게 되어 신호 전송 특성이 심각한 문제점을 야기하고 있기 때문에 MMIC 방식보다 60 dB의 고주파대역에서 주파수 손실 적은 비방사유전체선로를 이용하는 방식이 주목받고 있다.

비방사유전체선로기술이란 수직과 같은 유전체 재료로 선로를 만들어 그 선로를 따라 신호가 흐르게 하고, 그 유전체 선로를 급속으로 감싸 유전체를 따라 흐르는 전송파가 방사되지 않게 하는 기술로, 전도체를 따라 신호가 흐르고 절연체가 신호의 누설을 방지하는 기존의 기술방식과 큰 차이를 보이는 기술이다. 최근에는 이 비방사유전체선로기술을 이용하여 고주파 대역의 무선 통신 디바이스 개발이 진행되고 있는데, 디바이스 개발 방향은 비방사유전체선로 사이에 유전체 공진기를 삽입하는 기술로 진행되고 있다.

기존에 비방사유전체 선로에 삽입되는 마이크로파 유전체 재료¹⁾는 $MgTiO_3$ - $CaTiO_3$ 계 화합물로서, 이를 이용한 유전체 공진기를 삽입시킨 비방사유전체선로는 삽입 손실이 크고, 품질계수가 낮아 전송 손실이 커지는 문제가 발생하고 있다. 이 결점을 보완하기 위해 제시된 재료가 $Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O_3$ (BMT)로서, 고품질계수계 세라믹스 중 품질계수 특성이 가장 우수하다. 하지만 일반적인 고상 반응으로 분체를 제조하는 경우 1600°C 이상의 고온에서나 치밀화가 가능한 정도의 난소결성이고, 치밀화를 위해서는 페로브스카이트 구조에서 B-site에 존재하는 Mg-Ta 이온의 규칙화를 위해 고온에서 16시간 이상의 열처리가 요구되는 것으로 알려져 있다²⁾.

따라서 본 연구에서는 $BaWO_4$ 를 소결조제로 이용하여 액상형성을 통한 소결성 향상과 이온치환을 통한 결합제어를 통해 고밀도의 BMT 화합물을 합성하고, 이를 이용하여 비방사유전체선로에 삽입되는 세라믹스 공진기를 제작하여 기존의 $MgTiO_3$ - $CaTiO_3$ 계 세라믹스를 응용한 공진기와 비교분석하고 응용 가능성을 관찰하였다.

2. 실험 방법

2.1 분말합성과 평가

$BaCO_3$ (CERAC, 99.9%), MgO (CERAC, 99.5%), Ta_2O_5 (CERAC, 99.5%)를 3 : 1 : 1의 화학양론비가 되도록 칭량한 후, 24시간 동안 ZrO_2 ball과 ethanol 용매를 이용하여 Ball milling 하였다. 그리고 120°C에서 10시간 동안 건조하여, 1200°C에서 10시간 동안 하소시켜 순수 BMT 분말을 합성하였다.

$BaWO_4$ 의 합성에서는 $BaCO_3$ (CERAC, 99.9%)와 WO_3 (WAKO, 99.9%)를 1 : 1의 화학 양론비가 되도록 칭량한 후, BMT 합성조건과 같은 조건으로 Ball milling 하였다. 120°C에서 10시간 건조시킨 후, 700°C에서 5시간 하소시켜 $BaWO_4$ 분말을 합성하였다.

$BaWO_4$ 가 첨가된 BMT의 합성은 5 mol%의 $BaWO_4$ 분말과 95 mol%의 BMT 분말을 위와 같은 방법으로 Ball milling 시킨 후, 120°C에서 10시간 동안 건조하여, 1200°C에서 10시간 동안 하소시켰다. 분말의 결합제로 PVA 수용액을 5 wt% 첨가하여 잘 혼합시킨 후, 체가름 하여 소결첨가제가 첨가된 BMT 분말을 합성하였다.

합성된 BMT 분말은 2 ton/cm²의 압력으로 가압성형하여 직경 10mm, 두께 5mm의 디스크형 성형체를 제조하였으며, 실제 공진기에 응용되는 시편의 제작을 위해 2 ton/cm²의 압력으로 직경 2.75mm, 두께 약 0.5mm의 디스크형 성형체를 제조하였다. 그리고 700°C에서 1시간 동안 열처리하여 burn out 시키고, 1550°C, 1600°C, 1650°C 각각의 소결온도에서 4시간 동안 소결시켰다. 합성된 BMT 소결체의 물리적 소결특성을 측정하기 위해 부피비중을 측정하였다.

그리고 하소시킨 BMT 분말과 소결시킨 BMT 소결체의 상분석을 위해 XRD(Rigaku Co., D/MAX IIIA)분석을 행하였다. X-ray원으로는 $CuK\alpha(\lambda=1.54056\text{Å})$ 을 사용하여 $2\theta = 10^\circ \sim 95^\circ$ 범위에서 측정하였다.

2.2 유전특성 평가

유전특성 평가를 위해 본 연구에서는 비방사유전체선로기술을 이용하였으며, 그 준비과정은 다음과 같다. 먼저 도체판 위에 Teflon으로 선로를 만든 후 선로 사이의 간격을 띄우고, 직경이 2.5mm이고 높이가 0.5mm인 BMT 소결시편을 같은 크기의 Teflon disk 사이에 삽입하여 유전체 공진기로 만든다. 그리고 BMT 유전체 공진기를 Teflon 선로 사이에 삽입하여 준비된다. 공진기의 공진 특성은 Network analyzer(Agilent 83557A, mm-wave source module)를 사용하여 측정하였다.

유전손실 평가는 공진주파수와 3 dB 폭을 측정하여 얻어지는 부하 품질계수 Q_L 과 삽입손실을 이용하여 부하 품질계수 Q_0 를 계산함으로써 이루어진다.

$$Q_L = \frac{f_0}{f_2 - f_1} \quad (1)$$

$$A_t = 10^{-IL_0/20} \quad (2)$$

$$Q_u = \frac{Q_L}{1 - A_t} \quad (3)$$

여기서 f_0 는 공진 주파수이고, IL_0 는 삽입손실이다. 그리고 $f_2 - f_1$ (MHz)는 f_0 에서 3 dB 아래에서 측정된 주파수 폭이다.

3. 결과 및 고찰

그림 1의 아래쪽 그림은 1200°C에서 하소시킨 BMT 분말의 XRD 패턴을 나타낸 것으로, BMT 피크가 모두 강하게 나타나 BMT 분말이 잘 생성되었음을 보여준다. 그리고 그림 2는 BaWO₄의 XRD 패턴을 나타낸 것으로, BaWO₄ 피크 역시 선명하고 강하게 나타나 BaWO₄ 분말이 잘 생성되었음을 보여준다.

또한 BaWO₄를 첨가시켜 1200°C에서 하소시킨 BMT 분말의 XRD 패턴을 그림 1의 위쪽에 나타내었는데, BaWO₄ 피크가 약하게 존재하지만, BMT 피크가 주된 피크로 강하게 나타나 BMT형 분말이 생성되었음을 알 수 있다.

그림 3은 BaWO₄가 첨가된 BMT 분말을 1200°C에서 하소시킨 후 1550°C, 1600°C, 1650°C에서 각각 소결시킨 BMT 소결체의 XRD 패턴을 나타낸 것으로, 그림 1에서 존재하고 있던 BaWO₄의 피크가 소멸된 것으로 볼 때, 소결과정에서 BaWO₄가 BMT와 완전히 화합물을 형성한 것으로 판단된다.

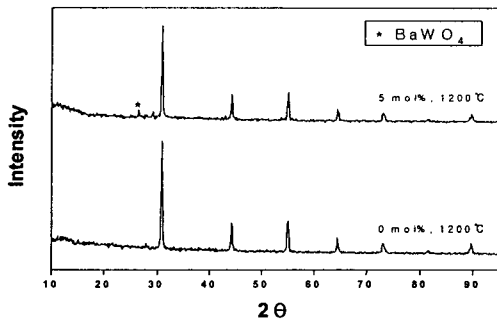


그림 1. 1200°C에서 하소시킨 BMT의 XRD 패턴

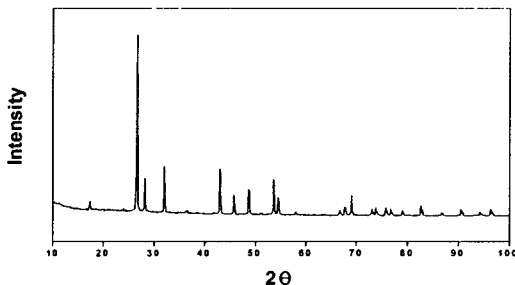


그림 2. 700°C에서 하소시킨 BaWO₄의 XRD 패턴

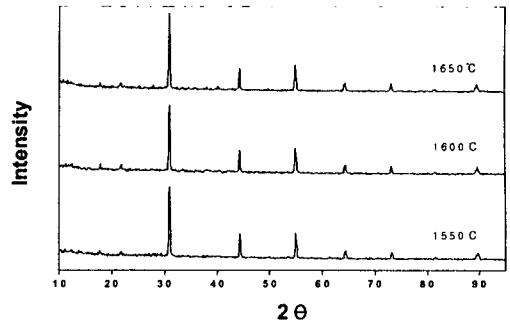


그림 3. 소결온도에 따른 BMT의 XRD 패턴

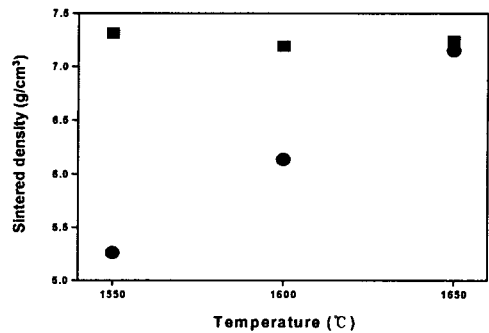


그림 4. 소결온도에 따른 소결밀도 변화

그림 4는 소결온도에 따른 BMT의 소결밀도 변화를 나타낸 것으로, 사각형으로 나타낸 것은 소결첨가제를 첨가시켜 하소한 시편의 소결밀도로 각각의 소결온도에서 7.31 g/cm³, 7.20 g/cm³, 7.24 g/cm³로 측정되어 원형으로 표시된 순수 BMT보다 높은 밀도를 나타내었다. 소결첨가제가 첨가된 BMT가 1550°C의 비교적 낮은 소결온도에서 높은 밀도를 나타내는 이유는 BaWO₄가 1430°C에서 BMT 소결체에 액상으로 용해되어 소결을 촉진시키고, Ta⁵⁺ 이온이 W⁶⁺ 이온으로 치환되어 고온에서 소결될 때 발생하는 산소 vacancy를 소멸시키기 때문인 것으로 판단된다⁹⁾.

표 1은 BMT와 MgTiO₃-CaTiO₃계 화합물을 이용하여 제작된 공진기를 비방사유전체선로에 삽입시켜 공진특성을 측정된 것이며, 그림 5는 비방사유전체선로에 삽입시킨 공진기를 나타낸 것이다. 표 1에서와 같이 MgTiO₃-CaTiO₃계 화합물과 BMT 유전체와의 공진특성을 주파수별로 비교해보면, MgTiO₃-CaTiO₃계 화합물을 이용한 공진기에 비해 BMT를 이용한 공진기의 삽입손실은 1.6dB 이하로 약 50% 내외로 감소된 것을 볼 수 있다. 또한 품질계수 Q_u 역시 2000~4000로 MgTiO₃-CaTiO₃계 화합물보다 2배 이상 증가하였다.

표 1. BMT와 MgTiO₃-CaTiO₃계 화합물의 공진특성비교

비 고		MgTiO ₃ -CaTiO ₃ 계 화합물	BMT
삽입 손실	58 GHz	2.93 dB	1.40 dB
	59 GHz	2.24 dB	1.58 dB
	60 GHz	1.78 dB	1.02 dB
평균 Q _u		1000 ~ 1500	2000 ~ 4000

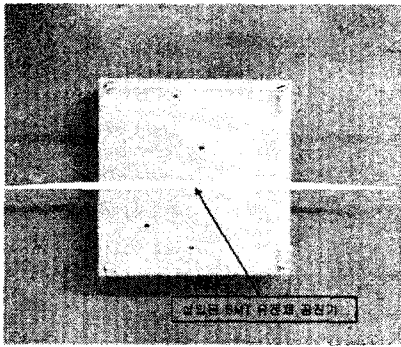


그림 5. 비방사유전체 선로에 삽입된 BMT 유전체 공진기

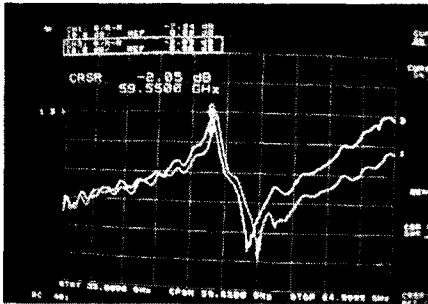


그림 6. MgTiO₃-CaTiO₃계 화합물의 공진특성

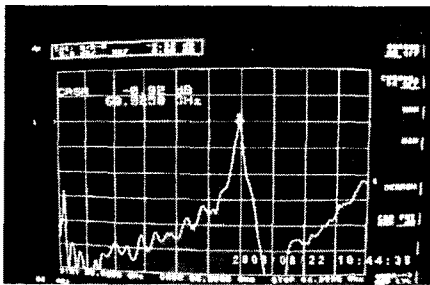


그림 7. BMT의 공진특성

그림 6과 그림 7은 MgTiO₃-CaTiO₃계 화합물의 공진특성과 BMT의 공진특성을 나타낸 것으로서, 공진주파수 6GHz에서 BMT 유전체 공진기의 삽입손실은 MgTiO₃-CaTiO₃계 화합물의 삽입손실보다 훨씬 작은 값을 나타내고 있음을 확인 할 수 있다. 또한 BMT 세라믹스는 MgTiO₃-CaTiO₃계 화합물과는 달리 공진 point 우측부분의 폭이 깊기 때문에 기존에 차단 영역에서 우수한 특성을 나타낼 것으로 판단된다. 이와 같은 결과로 볼 때, BMT 유전체 공진기의 우수한 공진특성은 비방사유전체선로에 삽입되는 유전체 공진기 재료로 BMT의 주목이 기대된다¹⁰⁻¹⁴⁾.

4. 결 론

BaWO₄를 소결조제로 첨가시켜 BMT를 합성하고 이를 이용하여 비방사유전체선로에 삽입되는 세라믹스 공진기의 제작 및 기존의 MgTiO₃-CaTiO₃계 세라믹스 공진기와 공진특성을 비교분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. BaWO₄를 첨가하여 합성한 BMT는 소성과정에서 액상형성을 통한 소결축진과 이온치환을 통한 산소공공의 제거로 인해 고밀도의 소결체를 얻을 수 있었다.
2. BMT 유전체 공진기는 MgTiO₃-CaTiO₃계 화합물 유전체 공진기에 비해 삽입손실은 훨씬 작고 2배 이상의 Q₀를 나타내어 향후 비방사유전체선로에 삽입되는 유전체 공진기 재료로서 응용이 기대된다.

[참 고 문 헌]

- [1] K. Wakino and H. Tamura, *セラミックス*, vol. 19 No.11, p927, 1984
- [2] H. Ohuchi, *セラミックス*, vol.30 No.4,p294, 1995
- [3] H. Kagata, *セラミックス*, 33(1) (1998) 4.
- [4] 김용수, 이형규, 방규선, *전기전자재료학회지*, 8권 5호, p394,1998
- [5] 홍국선, *세라미스트*, vol.3 No.2, p18, 2000
- [6] M. H. Liang, C. T. Hu, H. F. Cheng, I. N. Lin and J. Steeds, *J. Europ. Ceram. Soc.*, vol.21, p2759, 2001
- [7] M. H. Liang, C. T. Hu, H. F. Cheng, I. N. Lin and J. Steeds, *J. Europ. Ceram. Soc.*, 21 (2001) 2759.
- [8] K. H. Yoon, D. P. Kim and E. S. Kim, *J. Am. Ceram. Soc.*, 77(4) (1994) 1062.
- [9] K. H. Yoon, S. J. Yoo, W. S. Kim, T. B. Kim and E. S. Kim, *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol.38, p5616, 1999
- [10] T. Yoneyama and S. Nishida, *IEEE Transactions on microwave theory and techniques*, MTT 29(11), p1188, 1981
- [11] T. Yoneyama, M. Yamaguchi and S. Nishida, *IEEE Transactions on microwave theory and Techniques* MTT 30(12), p2146,1982
- [12] T. Yoneyama, N. Tozawa, N. Tozawa and S. Nishida, *IEEE Transactions on microwave theory and Techniques*, MTT 31(8), p648, 1983
- [13] T. Yoneyama, S. Nishida and H. Tamaki, *IEEE, MTT S Digest*, p115, 1986
- [14] T. Yoneyama, H. Tamaki, S. Nishida, *IEEE Transactions on microwave theory and Techniques*, MTT 34(8), p876, 1986