

Structural and Microwave Dielectric Properties of BMT-BCN Ceramics

李文基* · 柳基元** · 鄭長鎬*** · 李永熙[§]
 (Moon-Kee Lee · Ki-Won Ryu · Jang-Ho Chung · Young-Hie Lee)

Abstract - In this study, the $(1-x)\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3-x\text{Ba}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ceramics ($x=0.3, 0.4, 0.5, 0.6$) were prepared by the conventional mixed oxide method. The ceramics were sintered at the temperature of 1500~1575°C for 5 hours in air. The BMT-BCN ceramics have a complex perovskite structure, and have peaks of (101), (102), (201), (202) and (212). Increasing the sintering temperature, dielectric constant was increased. Temperature coefficients of resonant frequency of the specimens were decreasing with increasing BCN content. In the case of the 0.7BMT-0.3BCN ceramics sintered at 1575°C for 5 hours, dielectric constant, quality factor and temperature coefficient of resonant frequency for microwave dielectrics application were a good value of 28, 235500 at 1 GHz and -1.2 ppm/°C, respectively.

Key Words : Microwave Dielectric Ceramics, Complex Perovskite Material, Quality Factor, Temperature coefficient of resonant frequency

1. 서론

최근 급속히 증대하는 정보통신량을 효과적으로 전송하기 위하여 통신 및 방송서비스에서 마이크로파를 반송파(carrier wave)로 이용함에 따라 무선통신 단말기, 이동 및 위성통신 수신기용 부품들의 산업적, 경제적 중요성이 국가적인 문제로 대두되고 있다.[1] 마이크로파 부품은 크게 능동부품과 수동 부품으로 구분된다. 능동부품에는 반도체를 이용한 저잡음 증폭기, 출력 증폭기, 믹서 등이 있으며, 수동부품으로는 여러 가지 필터류가 대표적으로 커패시터, 인덕터, 전송선(transmission line), strip line 외에 유전체 공진기(dielectric resonator, DR)가 사용되고 있다.[2] 이들중에서 유전체 공진기는 안테나 공용기, 대역통과필터, 발진기 등에 사용되고 있으며, 다른 소자들에 비해 우수한 주파수의 온도안정성, 저손실, 고신뢰성 및 열적 안정성 등의 특징이 있어 현재 셀룰러 이동통신 단말기의 핵심부품으로 이용되고 있다.

현재까지 개발된 마이크로파 유전체 공진기용 재료는 유전율 및 품질계수의 크기에 따라 저유전율(20~30) 및 높은 품질계수(>10,000)값을 나타내는 복합 페로브스카이트형 재료, 중간 정도의 유전율(30~40) 및 품질계수(≈8,000)값을 나타내는 $\text{Ba}_2\text{Ti}_9\text{O}_{20}$ 또는 $(\text{Zr}, \text{Sn})\text{TiO}_4$ 계 재료, 고유전율(70~90) 및 낮은 품질계수(3,000~4,000)값을 나타내는 $\text{BaO-Ln}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ 계 재료로 크게 구분되어진다.[3-6] 개발 초기의 마이

크로파 유전체 공진기용 재료에 대한 연구 및 실용화는 통신 기기의 경박단소의 추세에 따라 필터 또는 공진기의 소형화, 저가격화가 가능한 고유전율 재료에 집중되어져 왔다. 그러나, 민생통신용 주파수가 10[GHz]대 이상으로 높아지고 통신시스템이 디지털화 됨에 따라 높은 품질계수를 갖는 복합 페로브스카이트 재료의 필요성이 급증되고 있다. 현재까지 발표된 복합 페로브스카이트 재료는 $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ 계 및 $\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ 계 세라믹스가 주류를 이루고 있으나 1600 [°C] 이상의 소결온도와 10시간 이상의 소결시간 및 분위기 가스를 사용한 후 열처리 공정이 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 산업체에서는 제조단가의 절감 및 양산의 용이함을 위해 제반특성은 유지하면서 낮은 소결온도와 짧은 소결시간을 갖는 신재료의 개발이 절실히 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 1600°C 이하에서 소결이 가능하고 분위기 가스 및 후 열처리 공정이 없어 제조공정을 간편화시키며 높은 품질계수를 갖는 마이크로파 유전체 공진기를 개발하기 위해 우수한 마이크로파 유전특성을 갖는 $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ 에 낮은 소결온도와 음의 공진주파수의 온도계수를 갖는 $\text{Ba}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ 를 고용시킨 $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3-\text{Ba}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ (이하 BMT-BCN이라 한다.) 세라믹스를 제작하여 소결온도 및 BCN의 조성비에 따른 마이크로파 유전특성을 고찰하였다.

2. 실험

2.1 시편의 제조

본 연구에서는 유전체 공진기의 요구조건(유전율≈28, $Q \times f_r \geq 150,000$, $\tau_f \approx 0$)을 만족시키기 위하여 시편의 조성은

* 正 會 員 : 光云大 工大 電子材料工學科 博士課程

** 正 會 員 : 驪州大 工大 電子科 教授 · 工博

*** 正 會 員 : 光云大 工大 電子材料工學科 研究員 · 工博

§ 正 會 員 : 光云大 工大 電子材料工學科 教授 · 工博

接受日字 : 1998年 12月 23日

最終完了 : 1999年 3月 3日

$(1-x)\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3-x\text{Ba}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ ($x=0.3, 0.4, 0.5, 0.6$)으로 선택한 후, 일반소성법으로 시편을 제작하였다. 출발원료로 BaCO_3 , MgO , Ta_2O_5 , CoO , Nb_2O_5 (순도 99.9% 이상)를 사용하였다. 먼저 $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ 와 $\text{Ba}(\text{Co}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ 을 조성식에 따라 각각 평량한 후, 아세톤을 분산매로 하여 지르코니아 볼로 24시간 동안 각각 혼합분쇄하였다. 혼합분쇄된 BMT와 BCN 분말을 각각 100[°C] 전기오븐에서 24시간 동안 건조하였으며, 건조된 후 각각 알루미늄아 도가니에 넣고 1000[°C]에서 2시간 동안 1차 하소하였다. 하소시 전기로의 온도상승율은 300[°C/hr]로 하였다. 1차 하소한 BMT와 BCN 분말을 물비에 따라 알루미늄아 유발에 넣어 혼합분쇄한 후, 1200[°C]에서 2시간 동안 2차 하소하였다. 2차 하소한 BMT-BCN 분말을 원통형 금형($\phi=6.8[\text{mm}]$)에 넣고 1[ton/cm²]의 압력으로 성형하였으며, 성형한 시료를 1500~1575[°C]에서 5시간 동안 소결하였다.[7] 이상의 제조공정은 그림 1과 같다.

2.2 구조적 특성 측정

혼합 분쇄된 시료의 가열과정중에서 발생하는 물리, 화학적 변화는 시차열분석(Differential Thermal Analysis, DTA) 및 열중량분석(Thermal Gravimetric Analysis, TGA)을 통해 관찰하였다. 또한, 소결조건 및 조성 변화에 따른 결정구조의 변화 및 고용체 형성과정등을 관찰하기위하여 X-ray generator(D/MAX, Rigaku Co.)를 사용하였으며, 스텝폭과 주사속도는 각각 0.01[deg.], 4[deg./min]로 하였다. SEM을 이용하여 결정립의 형태, 결정입계, 기공 및 2차상의 분포 등 미세구조를 관찰하였다.

2.3 마이크로파 유전특성 측정

마이크로파 대역에 있어서의 유전특성의 측정법은 섭동법(Perturbation method), 공동 공진기법(Cavity resonator method), 유전체 공진기법(Dielectric resonator method) 등이 있으며, 이 가운데 유전체 공진기법은 낮은 유전율의 재료로부터 높은 유전율의 재료까지 측정이 가능하고, 또한 10⁻⁵의 저손실 특성도 측정 가능한 점에서 가장 많이 이용된다. 따라서 본 연구에서의 마이크로파 유전특성은 Hakki와 Coleman에 의해 제시되고 Kobayashi 등이 보정한 유전체 공진기법으로 Network Analyzer(HP 8720C)를 사용하여 측정하였으며, 측정장치도는 그림 2와 같다.[8,9]

제작한 원통형 유전체의 유전율 ϵ_r 은 식(1)을 이용하여 계산하였다.

$$\epsilon_r = (\lambda_0 / \pi D)^2 (\alpha^2 + \beta^2) + 1 \tag{1}$$

여기서, λ_0 : 자유공간에서의 공진파장,

D : 유전체의 직경

α, β : TE 모드에서 동작하는 공진구조에 대한 특성방정식의 해

제작한 원통형 유전체의 품질계수 Q_L 는 그림 2의 측정회로로부터 공진주파수(f_r), 3[dB] 대역폭(BW) 및 삽입손실을 측

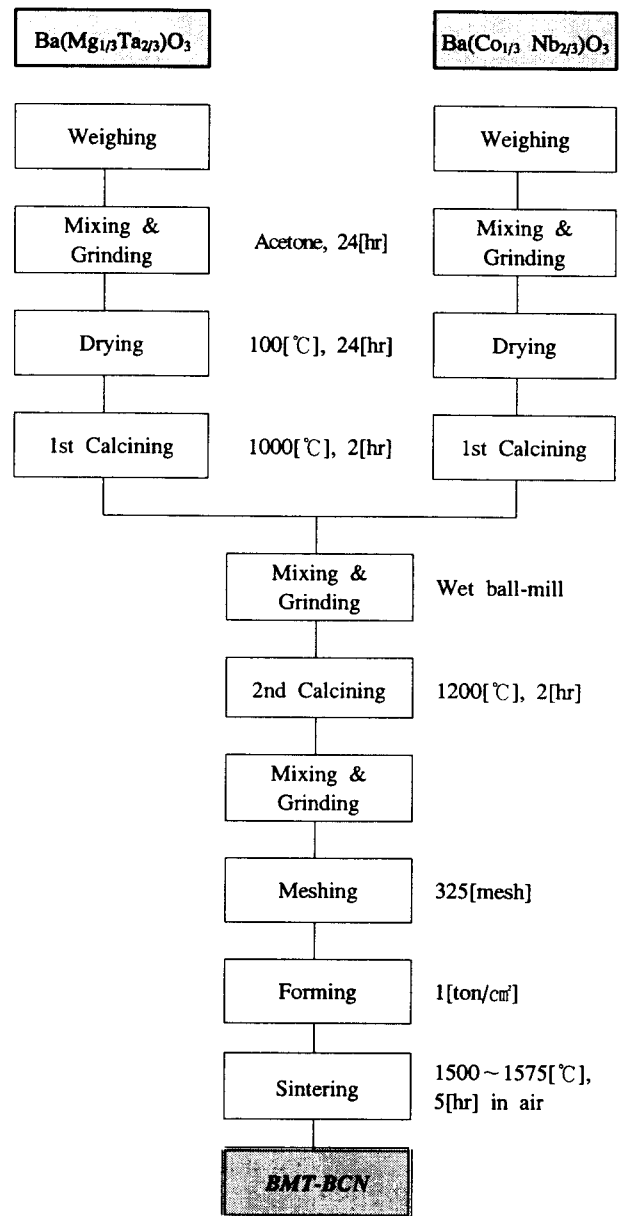


그림 1 BMT-BCN 세라믹스의 제조공정

Fig. 1 Manufacturing process for the BMT-BCN ceramics.

정한 후, 식(2)를 이용하여 계산하였다.[10]

$$Q_L = \frac{f_o}{BW} \tag{2}$$

공진주파수의 온도계수(Temperature coefficient of resonant frequency, τ_f)는 그림 2의 측정장치(Zig)를 전기오븐에 넣고 25~60[°C]까지 온도 변화에 따른 공진주파수의 변화량을 측정정한 후, 식(3)을 이용하여 계산하였다.[11]

$$\tau_f = \frac{(f_{60} - f_{25})}{(T_{60} - T_{25})} \times \left(\frac{1}{f_{25}}\right) \tag{3}$$

여기서, f_{25} : 25[°C]에서의 공진주파수

f_{60} : 60[°C]에서의 공진주파수,

T_{25} : 25[°C], T_{60} : 60[°C]

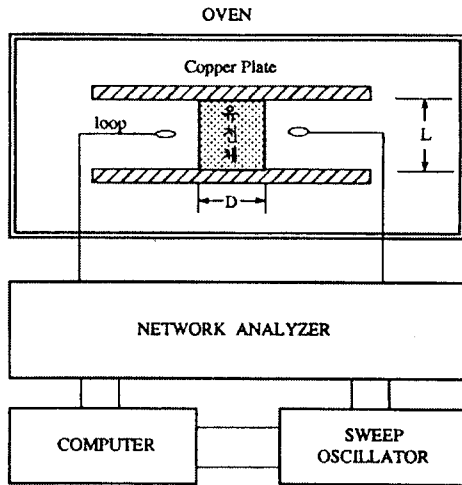


그림 2 유전체 공진기법의 측정장치도
Fig. 2 Measuring apparatus for the dielectric resonator method.

3. 결과 및 고찰

BMT 분말의 온도에 따른 물리, 화학적변화 및 고용체 형성 과정을 관찰하고자 25[°C]~1400[°C]의 범위에서 시차 열 분석 및 열중량 분석을 하였으며, 그 결과를 그림 3에 나타내었다. 310.33[°C]에서 발열 피크와 중량의 감소가 발생하였으며, 이는 휘발성 불순물 및 불밀 과정 중 혼입된 유기물의 연소에 의해 발생한 것이다.[12] 또한 650[°C]에서 990[°C]까지 넓은 온도 범위에 걸쳐 중량감소가 발생하였으며, 이는 시료 자체에 포함된 CO₂의 휘발에 의한 것이며, 829.89[°C] 및 973.87[°C]에서의 흡열피크는 BaO와 MgO 및 Ta₂O₅의 반응에 의한 고용체의 형성에 의한 것으로 생각된다.[13] 단, 1000[°C] 이상에서 큰 중량손실은 관찰되지 않았다.

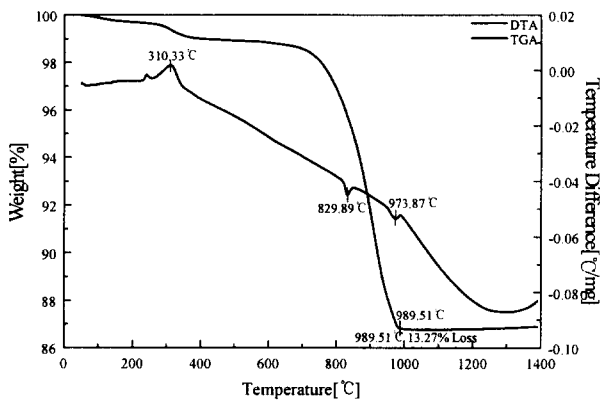


그림 3 Ba(Mg,Ta)O₃ 분말의 시차열분석 및 열중량 분석
Fig. 3 DTA and TGA patterns of the Ba(Mg,Ta)O₃ powder.

그림 4에 BCN 분말의 시차열분석 및 열중량분석의 결과를 나타내었다. 250.86[°C]의 발열 피크와 중량의 감소는 휘발성 불순물 및 불밀 혼합 과정에서 유입된 유기물의 연소에 의해 발생한 것이며, 600[°C]에서 1000[°C]까지 넓은 온도 범위에 걸친 중량감소는 시료 자체에 포함된 CO₂의 휘발에 의한 것으로 생각된다. 955.09[°C]에서의 흡열피크는 BaO와 CoO 및 Nb₂O₅의 반응에 의한 고용체의 형성에 의한 것으로 생각된다. 1000[°C]이상에서 큰 중량손실은 관찰되지 않았다.

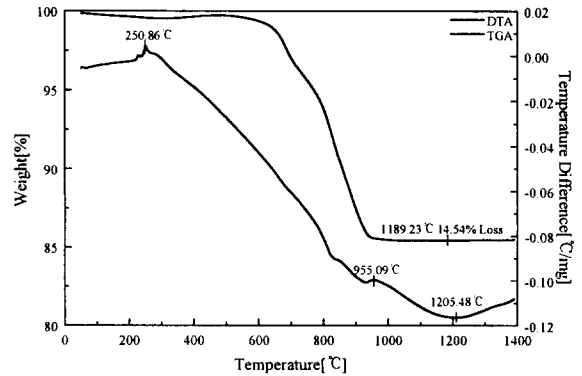


그림 4 Ba(Co,Nb)O₃ 분말의 시차열분석 및 열중량 분석
Fig. 4 DTA and TGA patterns of the Ba(Co,Nb)O₃ powder.

1차 하소 후 혼합한 0.4BMT-0.6BCN 분말의 시차 열 분석 및 열중량 분석을 그림 5에 나타내었다. 282[°C]에서 발열 피크와 0.244%의 중량감소가 발생하였으며, 이는 휘발성 불순물 및 불밀 혼합 과정 중 혼입된 유기물의 연소에 의해 발생한 것이다. 또한 575[°C] 부근의 중량감소는 잔존유기물과 CO₂의 휘발에 의한 것으로 생각된다. 전 온도범위에 걸쳐 큰 중량감소는 발생하지 않았으며, 이는 1차 하소에 의하여 CO₂ 및 잔존 유기물이 대부분 휘발하였기 때문으로 생각된다. 1200[°C] 이후에서 발열피크의 증가가 나타나는 것으로부터 BMT와 BCN의 고용체의 형성이 1300[°C] 이상에서 일어난다고 생각된다. 조성에 따른 큰 변화는 나타나지 않았다.

그림 3의 시차 열 분석 및 열 중량 분석 결과를 기초로 하여 더 이상의 중량 변화가 발생하지 않는 1100[°C]를 중심으로 1000~1200[°C] 범위에서 100[°C]간격으로 2시간 동안 하소한 BMT 분말에 대해 적정 하소 조건을 결정하기 위하여 X-선 회절분석을 하였으며, 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 1000[°C]에서 하소한 분말의 경우 먼저 BaO와 Ta₂O₅가 반응하여 Ba₅Ta₄O₁₅ 및 Ba₇Ta₆O₁₆상 등 Barium multi-tantalate상이 형성되었으며, 일부 미반응된 BaO와 Ta₂O₅상의 피크가 관측되었다. 그러나, 하소 온도가 증가함에 따라 BaO와 MgO 및 Ta₂O₅의 미반응 피크가 감소되었으며, 이는 Ba(Mg_{0.33}Ta_{0.67})O₃상의 형성 및 이미 형성된 Barium multi-tantalate상과 반응하여 BaMgO₃ 및 BaTaO₃ 상을 형성하였기 때문으로 생각된다. 따라서 BMT의 1차 하소조건은 잔존 유기물과 CO₂의 휘발이 완료되어 중량의 큰 변화가 없는 1000[°C]로 하였다.

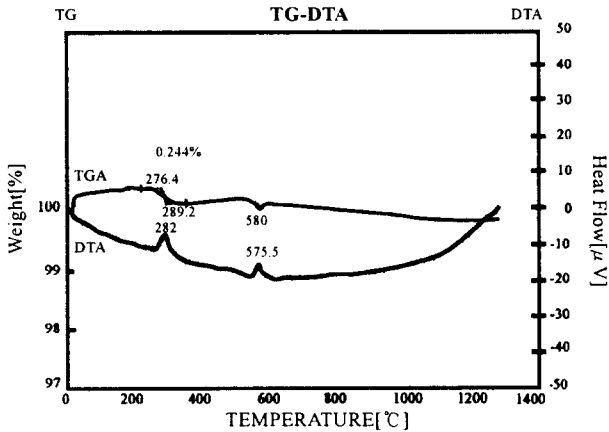


그림 5 1차 하소 후의 0.4BMT-0.6BCN 분말의 시차열분석 및 열중량 분석
 Fig. 5 DTA and TGA temperature patterns of the 0.4BMT-0.6BCN powder after first calcining.

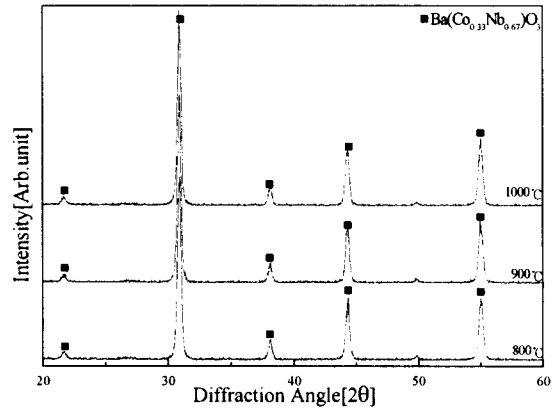


그림 7 하소 온도를 변화시킨 Ba(Co,Nb)O₃ 분말의 X-선 회절모양
 Fig. 7 X-ray diffraction patterns of the Ba(Co,Nb)O₃ powders calcined at various temperature.

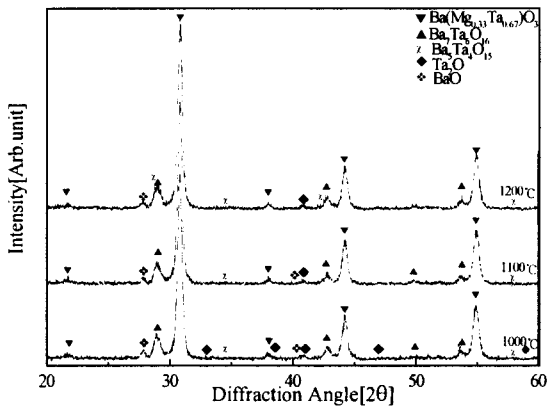


그림 6 하소 온도에 따른 Ba(Mg,Ta)O₃ 분말의 X-선 회절모양
 Fig. 6 X-ray diffraction patterns of the Ba(Mg,Ta)O₃ powders calcined at various temperature.

BCN 분말의 적정 하소 조건을 결정하기 위하여 그림 3의 시차 열분석 및 열중량 분석 결과를 기초로 하여 900[°C]를 중심으로 800~1000[°C] 범위에서 100[°C]간격으로 2시간 동안 하소한 후 X-선 회절분석을 하였으며 그 결과를 그림 7에 나타내었다. 하소 온도에 따른 큰 변화는 관찰되지 않았으며, 회절피크의 회절강도와 반복치의 변화 등으로 부터 하소온도의 증가에 따라 이차상이 감소하며 BCN상이 형성되는 것으로 생각된다. 따라서 BCN의 1차 하소조건은 1000[°C]로 하였다.

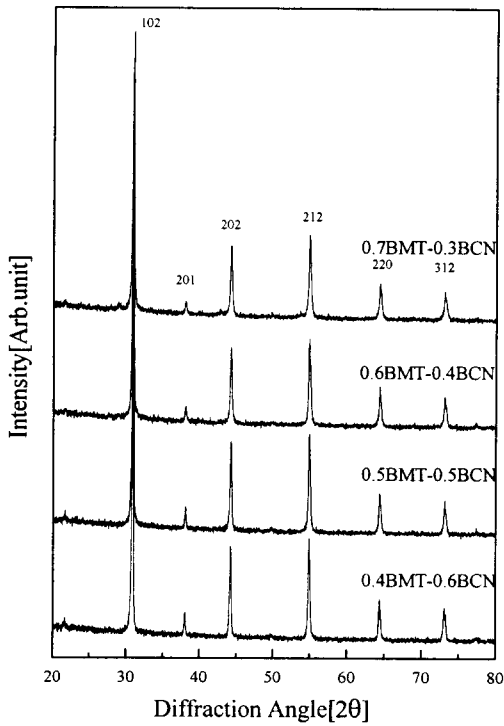
1차 하소한 BMT와 BCN을 (1-x)BMT-xBCN의 조성비에 따라 혼합한 후 BMT-BCN을 예비 반응시키기 위하여 1200[°C]에서 2시간 동안 2차 하소하였다. 2차 하소한 시료의 고용체 형성과정을 관찰하고자 X-선 회절분석한 결과를 그림 8에 나타내었다. BCN 몰비의 증가에 따라 그림(b)에서와 같이 38° 부근의 (201) 회절피크의 증가가 관찰되었다.

하소한 분말을 혼합 분쇄한 후 성형하여 1500~1575[°C]까지 25[°C] 간격으로 변화시켜 5시간 소결하였으며, 소결온도 변화에 따른 시편의 결정학적 변화를 변화를 관찰하고자 X-선 회절분석을 하여 그림 9에 나타내었다. 소결온도의 증가에 따라 전 조성에서 이차상 및 중간상의 회절강도는 감소하였으며, (101), (102), (201), (202) 및 (212)의 회절피크가 확인되어 복합 페로브스카이트상으로 형성된 것을 확인할 수 있었다.

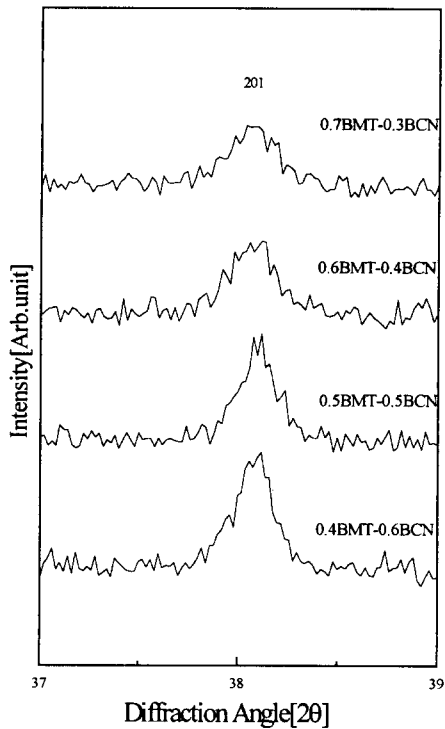
소결온도에 따른 시편의 결정립의 형태를 관찰하고자 소결체의 표면을 주사전자현미경으로 촬영하였으며, 그 결과를 그림 10에 나타내었다. 1500°C에서 소결한 시편의 경우 침상 결정립(needle-like phase)임을 관찰할 수 있었으며, 소결온도가 1500°C에서 1525°C로 상승에 따라 결정립이 성장하여 결정립 사이의 기공이 감소하여 치밀한 구조를 나타내었다. 그러나, 1550°C에서는 표면의 기공이 증가하였으며, 이는 BCN이 주도하는 결정상에서의 과잉열처리에 의해 발생하는 것으로 생각되며 품질계수의 감소특성과 밀접한 관련이 있다고 생각된다.

소결온도 및 조성변화에 따른 BMT-BCN 시편의 유전율과 유전손실 특성을 그림 11과 12에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 BCN의 조성이 감소함에 따라 유전율은 낮아졌으며, 이는 BMT의 유전율(≒25)이 BCN의 유전율(≒31)보다 낮은 것에 의한 것으로 생각된다. 0.4BMT-0.6BCN 조성의 경우 유전율과 유전손실은 각각 31과 1% 미만이었다. 모든 조성에 걸쳐 1525°C에서 약간의 유전율 감소가 나타났으며, 이는 1500°C 이하에서 주도하던 BCN상의 과잉열처리에 인하여 감소한 것으로 생각된다. 0.7BMT-0.3BCN 조성의 경우 27정도의 유전율과 0.3% 미만의 우수한 특성을 나타내었다.

소결온도 및 조성에 따른 BMT-BCN시편의 무부하 품질계수 특성을 고찰하기 위하여 그림 13에 나타난 TE₀₁₁ 공진 피크로부터 공진주파수, 3dB대역폭을 측정하였으며, 그 결과를 표 1에 나타내었다.



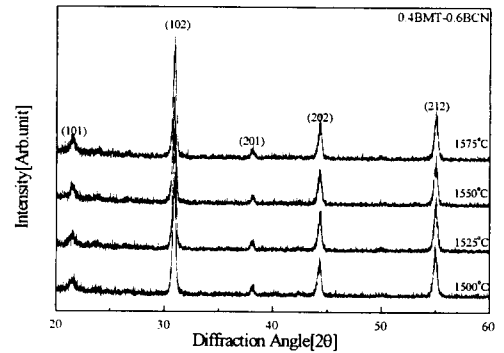
(a)



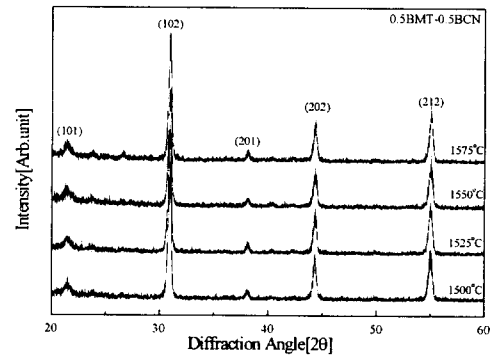
(b)

그림 8 조성비에 따른 $(1-x)\text{Ba}(\text{Mg},\text{Ta})\text{O}_3-x\text{Ba}(\text{Co},\text{Nb})\text{O}_3$ 분말의 X-선 회절모양

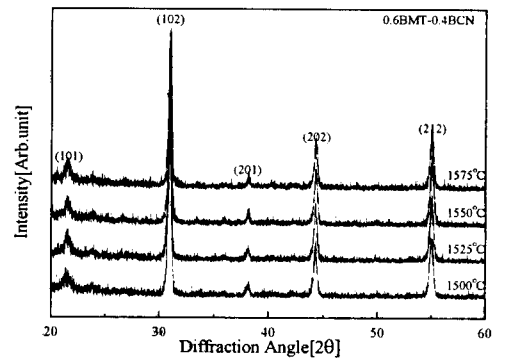
Fig. 8 X-ray diffraction patterns of the $(1-x)\text{Ba}(\text{Mg},\text{Ta})\text{O}_3-x\text{Ba}(\text{Co},\text{Nb})\text{O}_3$ powders with compositional ratio.



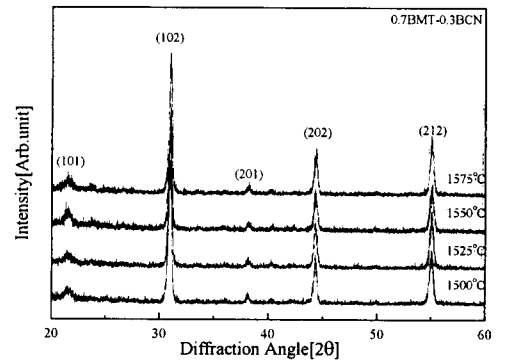
(a) 0.4BMT-0.6BCN



(b) 0.5BMT-0.5BCN



(c) 0.6BMT-0.4BCN



(d) 0.7BMT-0.3BCN

그림 9 소결온도 및 조성비에 따른 BMT-BCN 시편의 X-선 회절모양

Fig. 9 X-ray diffraction patterns of the BMT-BCN specimens with sintering temperature and compositional ratio.

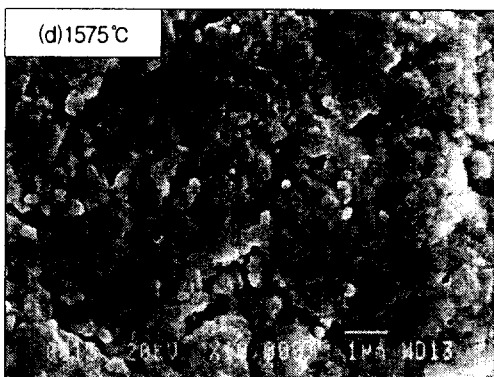
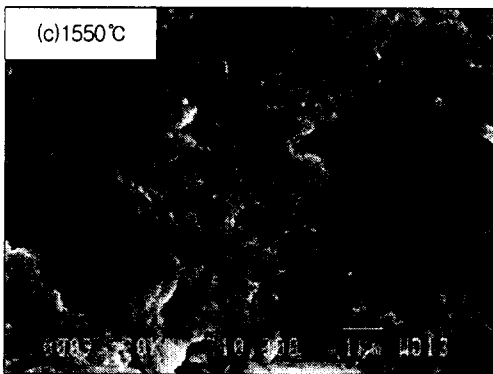
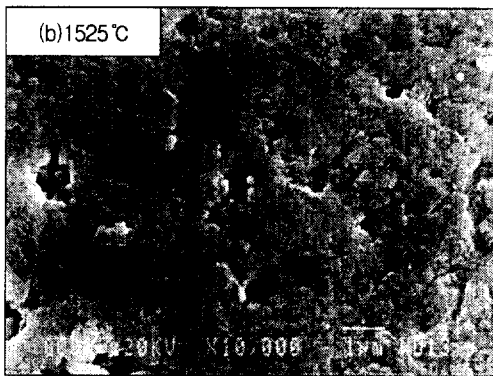
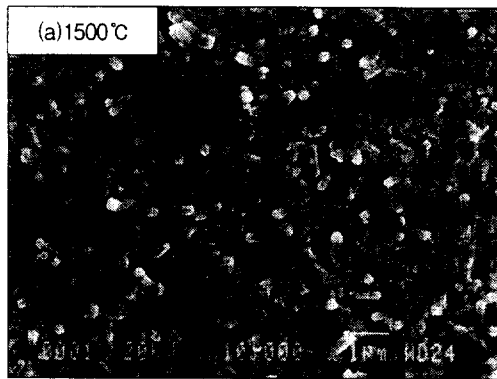


그림 10 소결온도에 따른 0.4BMT-0.6BCN 세라믹의 미세구조 특성
 Fig. 10 Microstructure of the 0.4BMT-0.6BCN ceramics sintered at various temperature.

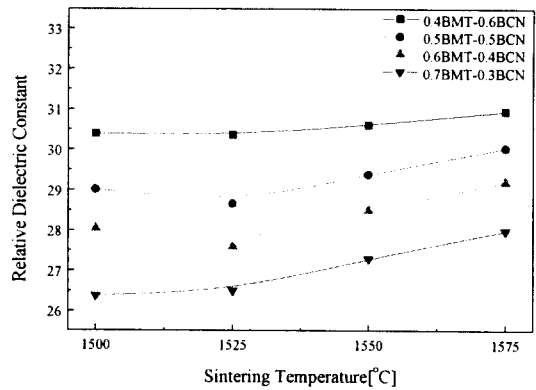


그림 11 소결온도 변화에 따른 BMT-BCN 세라믹스의 비유전율
 Fig. 11 Relative dielectric constant of the BMT-BCN ceramics as a function of sintering temperature.

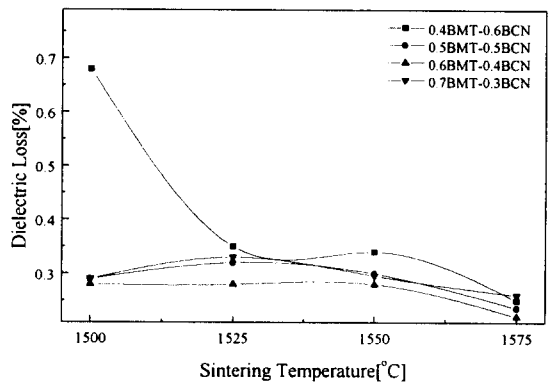
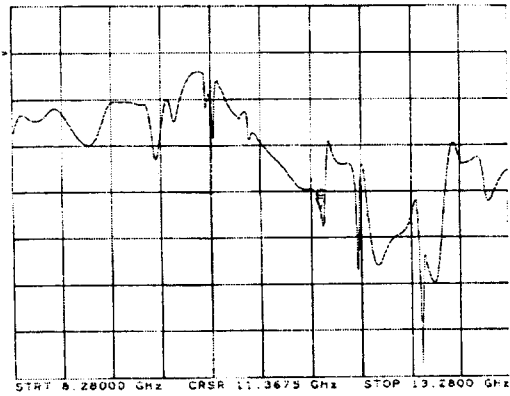
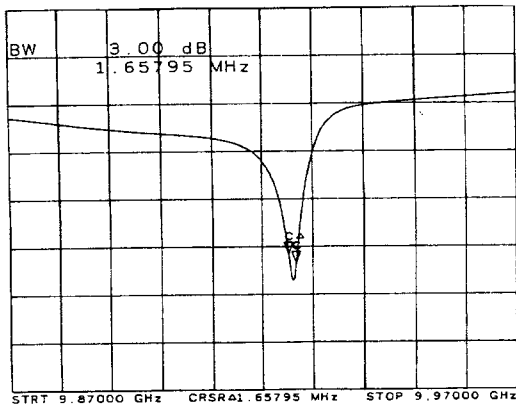


그림 12 소결온도에 따른 BMT-BCN 세라믹스의 유전손실
 Fig. 12 Dielectric loss of the BMT-BCN ceramics as a function of sintering temperature.

그림 14에 소결온도변화에 따른 BMT-BCN 시편의 $Q \times f$ 특성을 나타내었다. 각 시편의 공진주파수가 다르기 때문에 소결온도에 따른 품질계수를 고찰하기 위해서는 품질계수와 공진주파수와의 곱인 $Q \times f$ 값을 이용하는 것이 바람직하다.[14] 0.7BMT-0.3BCN 조성의 경우 전 소결온도에 걸쳐 100,000[at 1GHz] 이상의 우수한 품질계수 특성을 나타내었다. 특히 1550°C 이상에서 소결한 시편의 경우, 150,000[at 1GHz] 이상, 그리고 1575°C에서 소결한 시편의 경우, 200,000[at 1GHz] 이상의 우수한 특성을 나타내었다. 0.4BMT-0.6BCN 시편의 경우에도 1525°C에서 150,000[at 1GHz] 이상의 값을 나타내었으나, 1550°C 이상의 온도에서는 과잉열처리에 의하여 특성의 저하가 나타났다. 0.5BMT-0.5BCN 조성과 0.6BMT-0.4BCN 조성의 시편에서는 50,000 이하의 값을 나타내었으며, 이는 Mg, Co, Ta, Nb의 ordering이 이루어지지 않아 특성의 저하가 발생한 것으로 생각된다.[15]



(a) TE₀₁₁ 모드의 광대역 주파수 특성



(b) TE₀₁₁ 모드의 협대역 주파수 특성

그림 13 유전체 공진기법에 의한 주파수 특성

Fig. 13 The frequency characteristics by the dielectric resonator method.

그림 15에 조성변화에 따른 BMT-BCN 시편의 공진주파수의 온도계수(τ_f)의 변화를 나타내었다. 본 연구에서 선택한 조성과 같이 다상(multi-phase)으로 구성된 세라믹스에서 공진주파수의 온도계수는 각 구성상들의 체적비에 의존하여 대수 혼합 법칙(logarithmic mixing rule)에 따라 결정된다.[16,17] 본 연구에서 사용한 BMT는 $\tau_f=+4.4\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 의 값을 가지며, BCN은 $\tau_f=-6\text{ppm}/^\circ\text{C}$ 의 값을 갖고 있어 BCN의 조성이 감소함에 따라 τ_f 의 증가가 관찰되었으며 0.7BMT-0.3BCN 조성에서는 $-1.2[\text{ppm}/^\circ\text{C}]$ 의 값을 나타내었다. 그러나, 이는 이론치 보다는 낮게 나타났는데, 이는 1600 [°C] 이상의 소결온도를 갖는 BMT상의 형성 및 ordering이 완전히 이루어지지 못하였기 때문이라 생각된다. 소결온도에 따라서는 변화를 나타내지 않았다.

표 1. 조성 및 소결온도 변화에 따른 (1-x)BMT-xBCN 시편의 공진특성

Table 1. Resonant properties of the (1-x)BMT-xBCN specimens as a function of sintering temperature and composition ratio.

Composition (BMT/BCN)	Sintering Temp. [°C]	f_r [GHz]	Q (at 9[GHz])	TCRF τ_f [ppm/°C]
0.4/0.6	1500	9.94	12195	-2.7
	1525	9.93	18260	
	1550	10.17	5749	
	1575	9.96	11020	
0.5/0.5	1500	10.20	3854	-1.5
	1525	10.15	4240	
	1550	10.41	3012	
	1575	10.23	4652	
0.6/0.4	1500	10.39	3002	-1.4
	1525	10.36	3977	
	1550	10.36	2983	
	1575	10.40	5228	
0.7/0.3	1500	10.95	13329	-1.2
	1525	11.05	13573	
	1550	10.99	19186	
	1575	10.85	26162	

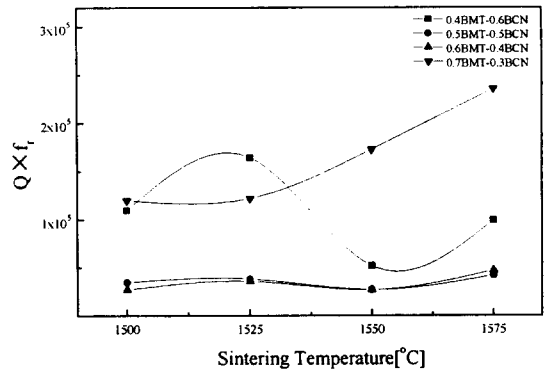


그림 14 소결온도에 따른 BMT-BCN 세라믹스의 품질계수

Fig. 14 $Q \times f_r$ value of BMT-BCN ceramics as a function of sintering temperature.

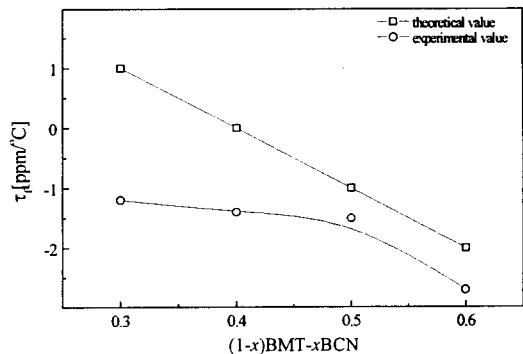


그림 15 조성비에 따른 BMT-BCN 세라믹스의 공진주파수의 온도계수

Fig. 15 Temperature coefficient of resonant frequency of the BMT-BCN ceramics with compositional ratio.

4. 결 론

본 연구에서는 저온에서 소결이 가능하고 높은 품질계수를 갖는 K-band용 마이크로파용 유전체 공진기를 개발하기 위해 우수한 마이크로파 유전특성을 갖는 BMT에 BCN을 고용시킨 Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O₃-Ba(Co_{1/3}Nb_{2/3})O₃ 세라믹스를 제작하여 구조적 특성 및 마이크로파 유전특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. XRD와 SEM으로 관찰한 미세구조 분석으로부터 BMT-BCN의 복합 페로브스카이트상을 확인하였다.
2. 소결온도의 증가에 따라 0.7BMT-0.3BCN 조성의 경우 품질계수는 증가하는 경향을 나타내었으며, 공진주파수의 온도계수는 소결온도의 변화에 의존하지 않았다.
3. 1575℃에서 5시간 소결한 0.7BMT-0.3BCN 조성의 시편의 경우 유전율, 품질계수 및 공진주파수의 온도계수는 각각 28, 235,500[at 1GHz], -1.2[ppm/℃]의 우수한 특성을 나타내었다.
4. BMT 조성의 증가에 따라 유전율은 감소하였으며, 공진주파수의 온도계수는 0[ppm/℃]으로 증가하였다.
5. 0.7BMT-0.3BCN 조성의 시편은 전 소결조건에서 100,000[at 1GHz]이상의 품질계수와 안정한 공진주파수의 온도특성을 나타내었다.

이상의 결론으로부터 0.7BMT-0.3BCN 세라믹은 기존의 복합페로브스카이트 물질에 비하여 1600[℃]이하의 소결온도와 N₂ 가스 등 분위기 가스가 없는 대기중에서 제작 가능하고 235,000[at 1GHz]의 높은 품질계수 특성을 나타내어 마이크로파 유전체 공진기 및 고품질계수를 요하는 기지국용 Band-pass filter로 사용이 가능한 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 1997년 한국과학재단의 산학협력연구과제 지원비에 의해 연구된 결과이며 이에 감사드립니다.
(과제번호 : 97-2-07-02-01-1)

참 고 문 헌

- [1] 西垣 進, "마이크로파 誘電體", 機能性 セラミックス, 日本ファインセラミックス協會, pp.85~94, 1989.
- [2] H.Ouhi et al., "Dielectric Ceramics for Microwave Application", Jpn.J.Appl.Phys., Vol.24, Suppl.24-2, pp.60~64, 1985.
- [3] S.Nomura, "Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O₃ Ceramics with Temperature-Stable High Dielectric Constant and Low Microwave Loss", Jpn.J.Appl.Phys., Vol.21, No.10, pp.L624~L626, 1982.
- [4] J.K.Plourde, "Ba₂Ti₃O₂₀ as a Microwave Dielectric Resonator", J.Am.Ceram.Soc., Vol.58, No.9~10, pp.418~420, 1975.
- [5] K.Wakino, "Microwave Characteristics of (Zr,Sn)TiO₄ and BaO-PbO-Nd₂O₃-TiO₂ Dielectric Resonator",

J.Am.Ceram.Soc., Vol.67, No.4, pp.278~281, 1984.

- [6] S.Nishigaki, "Microwave Dielectric Properties of (Ba,Sr)O-Sm₂O₃-TiO₂ Ceramics", Am.Ceram. Soc.Bull., Vol.66, No.9, pp.1405~1410, 1987.
- [7] 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.7, pp.586~592, 1985.
- [8] 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, pp.402~410, 1960.
- [9] Y.Kobayashi, "Resonant Modes of Dielectric Rod Resonator Short-Circuited at Both Ends by Parallel Conducting Plates", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol.Mtt-28, No.10, pp.1077~1085, 1980.
- [10] 小林 禧夫, "마이크로파 밀리미터대역에 於ける 複素誘電率測定", エレクトロセラミックス, No.1, pp.50~55, 1988.
- [11] M.Furuya, "Microwave Dielectric Properties for Ba(Mg_{1/3}Ta_{2/3})O₃-A(Mg_{1/2}W_{1/2})O₃ (A=Ba, Sr and Ca) Ceramics", Jpn.J.Appl.Phys., Vol.33, No.9B, pp.5482~5487, 1994.
- [12] S.Takahashi, "Reaction Mechanism and Dielectric Properties in Pb(Mg_{1/2}W_{1/2})O₃-Pb(Ni_{1/3}Nb_{2/3})O₃-PbTiO₃ System", Jpn.J.Appl.Phys., Vol.28, sup.28-2, pp.35~38, 1989.
- [13] K.Okazaki, "Ceramic Engineering for Dielectrics", 學獻社, 1978.
- [14] K.Wakino, "Microwave Dielectric Materials", Ceramics Transactions, Vol.8, pp.305~314, 1990.
- [15] 加藤 純一, "最近のマイクロ波誘電體", エレクトロセラミックス Vol.23, pp.5~11, 1992.
- [16] J.M.Wu, "Reaction Sequence and Effect of Calcination and Sintering on Microwave Properties Of (Ba,Sr)O-Sm₂O₃-TiO₂ Ceramics", J.Am.Ceram.Soc., Vol.73, No.6, pp.1599~1605, 1990.
- [17] M.Onoda, "Ba(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃-Sr(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃ Solid Solution Ceramics with Temperature-Stable, High Dielectric Constant and Low Microwave Loss", Jpn.J.Appl.Phys., Vol.21, No.12, p.1707, 1982.

저 자 소 개



이 문 기(李文基)

1969년 2월 2일생. 1994년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1997년 광운대 산업정보대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 현재 광운대학교 대학원 전자재료공학과 박사과정.

Tel : (02) 940-5164

E-mail : hayoung@explore.kwangwoon.ac.kr



류 기 원(柳 基 元)

1962년 2월 4일생. 1985년 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1987년 광운대 산업정보대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 1994년 광운대 대학원 전자재료공학과 졸업(공박). 현재 여주대학 전자과 교수.

Tel : (0337) 80-5200

E-mail : kwry@yeojoo.ac.kr



이 영 희(李 永 熙)

1950년 9월 23일생. 1973년 연세대 공대 전기공학과 졸업. 1975년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 연세대 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1985~1986년 Penn. State MRL 객원 연구원

현재 광운대 공대 전자재료공학과 교수.

Tel : (02) 940-5164

E-mail : yhlee@daisy.kwangwoon.ac.kr



정 장 호(鄭 長 鎬)

1962년 4월 10일생. 1987 광운대 공대 전자재료공학과 졸업. 1990년 광운대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 1997년 광운대 대학원 전자재료공학과 졸업(공박).

Tel : (02) 940-5164

E-mail : cheel@daisy.kwangwoon.ac.kr