

ITO박막/세라믹유전체 구조의 이동통신 주파수대역용 박형 전파흡수체의 설계 및 제조

윤여춘 · 김성수[†]

충북대학교 공과대학 재료공학과, 컴퓨터정보통신연구소

Design and Fabrication of Thin Microwave Absorbers of ITO/Dielectric Structures Used for Mobile Telecommunication Frequency Bands

Yeo-Choon Yoon and Sung-Soo Kim[†]

Department of Materials Science and Engineering,
Research Institute for Computer and Information Communication
Chungbuk National University, Chungju 361-763

(2003년 2월 10일 받음, 2003년 4월 15일 최종수정본 받음)

Abstract For the aim of thin microwave absorbers used in mobile telecommunication frequency band, this study proposed a high permittivity dielectrics($\lambda/4$ spacer) coated with ITO thin films of $377 \Omega/\text{sq}$ (impedance transformer). High frequency dielectric properties of ferroelectric ceramics, electrical properties of ITO thin films and microwave absorbing properties of ITO/dielectrics were investigated. Ferroelectric materials including BaTiO_3 (BT), $0.9\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - 0.1PbTiO_3 (PMN-PT), $0.8\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ - $0.2\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ (PMN-PZN) were prepared by ceramic processing for high permittivity dielectrics. The ferroelectric materials show high dielectric constant and dielectric loss in the microwave frequency range. The microwave absorbance (at 2 GHz) of BT, 0.9PMN-0.1PT, and 0.8PMN-0.2PZN were found to be 60%(at a thickness of 3.5 mm), 20% (2.5 mm), and 30% (2.5 mm), respectively. By coating the ITO thin films on the ferroelectric substrates with $\lambda/4$ thickness, the microwave absorbance is greatly improved. Particularly, when the surface resistance of ITO films is closed of $377 \Omega/\text{sq}$, the reflection loss is reduced to -20 dB(99% absorbance). This is attributed to the wave impedance matching controlled by ITO thin films at a given thickness of high permittivity dielectrics of $\lambda/4$ (3.5 mm for BT, 2.5 mm for PMN-PT and PMN-PZN at 2 GHz). It is, therefore, successfully proposed that the ITO/ferroelectric materials with controlled surface resistance and high dielectric constant can be useful as a thin microwave absorbers in mobile telecommunication frequency band.

Key words absorbers, microwave, ferroelectric, mobile telecommunication

1. 서 론

최근 PCS(Personal Communication System)와 같은 이동통신 시장은 양적으로나 질적으로 대단한 급성장을 하고 있다. 그러나 이들 이동통신 단말기로부터 나오는 전자파가 인체에 유해할 수 있다는 문제가 제기되면서 국내는 물론 전 세계가 전자파의 인체영향 연구 및 그 대책 마련에 골몰하고 있다. 현재까지 인체유해 여부가 확실히 규명된 바는 없으나, 있을 수 있는 가능성에 대비해 각국에서는 인체보호 기준을 고시해 그 규제를 강화하고 있다.

이동통신 단말기에서 전자파의 누설을 방지하고 인체유해 영향을 최소화하기 위한 방안중의 하나가 전파흡수체의 사용이다. 현재 시판되고 있는 이동전화의 경우 케이스 내부를 금속피막으로 코팅하여 전파누설을 최소화 하

고 있으나, 반사된 전파가 내부 회로 또는 부품 간에 전자파장해를 발생시킬 수 있다는 점에서 전자파 차폐제보다는 전파 감쇠 기능을 가진 전파흡수체가 보다 효과적이다.

이동통신 단말기에 들어가는 전자파 감쇠용 전파흡수체로서 요구되는 가장 중요한 특성은 통신주파수(셀룰러폰: 0.8 GHz, PCS: 1.8 GHz, IMT-2000: 2.2 GHz)에서 전자파 흡수율이 커야함은 물론 무엇보다도 두께가 박형이어야 한다. 그러나 기존의 페라이트 자성체나 탄소분말을 가지고 흡수체를 구성하였을 경우 상기 주파수대역에서 두께가 5~10 mm에 달하기 때문에,^{1,2)} 박형화에 필요한 새로운 소재의 사용 및 새로운 방식의 전파흡수체가 검토 되어야 한다.

정합형 전파흡수체에서 전파흡수율은 두께가 파장(λ)의 $1/4$ 일 때 최대가 되고, 이 정합두께는 구성 재료의 투자율 및 유전율의 제곱근에 반비례한다.³⁾ 스피넬 페라이트 자성체의 경우, Snoek 한계주파수를 넘어서면 투자율이 급격히 감소하여 1 GHz 이상에서 2~3 정도 밖에 되지

[†]E-Mail : sskim@chungbuk.ac.kr

않는다.⁴⁾ 고주파대역용 흡수재로 사용되고 있는 육방정 페라이트의 경우에도 1 GHz 이상에서 투자율은 10 정도에 불과하다.⁵⁾ 따라서 페라이트 자성체를 가지고 이동통신 주파수 대역용 박형 전파흡수체를 제작하는 것은 근본적으로 불가능하다.

반면 고유전을 세라믹 유전체(BaTiO₃, 완화형 강유전체)의 경우 고주파 대역에서도 높은 유전율을 보이기 때문에, 이들 재료를 이용한다면 박형 전파흡수체의 설계 및 제작이 가능할 것으로 예상된다. 완화형 강유전체로는 PMN-PT, PMN-PZN을 선정하였다. 강유전 특성의 BaTiO₃에서는 분역 분극에 의해, PMN계 유전체에서는 분극 클러스터의 진동에 의해 마이크로파 대역에서 높은 유전상수와 유전손실을 보이기 때문이다.⁶⁻⁸⁾ 다만 이들 재료의 경우 유전상수가 너무 커 표면에서 임피던스 부정합에 따른 전파반사가 클 것이 예상되기 때문에, 표면에 자유공간의 임피던스 (377 Ω)와 같은 저항을 갖는 박막의 형성이 필요하다. 이러한 저항막으로 비저항이 10⁻²~10⁻⁴ Ωm 범위의 값을 갖는 ITO(Indium Tin Oxide)계 산화물 반도체가 적합하다.^{9,10)}

따라서 본 연구에서는 박형화 방안의 하나로 ITO 박막 세라믹유전체 구조의 전파흡수체를 제안하고, 이동통신 주파수대역에 초점을 맞추어 전파흡수특성을 조사하였다. 고유전을 세라믹 유전체는 두께를 줄이기 위한 λ/4 spacer 역할을 하고, ITO 박막은 임피던스 정합을 유도하는 저항막 기능을 부여함으로써 박형의 전파흡수체를 구현한다는 것이 본 연구의 기본 발상이다.

2. λ/4형 전파흡수체의 설계

λ/4형 전파흡수체는 Fig. 1(a)에서와 같이 배면이 도체로 단락되어 있고, λ/4 두께를 갖는 유전체, 그리고 그 위에 R=377Ω의 면저항을 갖는 저항막으로 구성되어 있다. 이는 Fig. 1(b)와 같은 전송선로로 표시될 수 있고, 단락 전송선로에서 λ/4 거리에 유전체 표면의 입력임피던스(Z_{in})와 저항막의 면저항(R)이 병렬 연결되어 있는 회로로 해석되어질 수 있다. 단락 전송선로에서 Z_{in}은 다음과 같이 주어진다.¹¹⁾

$$Z_{in} = Z_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r}{\mu_r}} \tanh \left[\frac{j2\pi d}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \right] \quad (1)$$

여기서 Z₀는 자유공간의 파동임피던스(= 377Ω), j = √-1, λ는 파장, d는 유전체의 두께, μ_r은 복소투자율(= μ_r' - jμ_r'') ε_r은 복소유전율(= ε_r' - jε_r'')이다. d = λ/4로 하면 Z_{in} = ∞가 되기 때문에 흡수체 표면에서의 합성임피던스는 다음 식에서와 같이 박막의 면저항 R과 같아진다.

$$Z = \frac{R Z_{in}}{R + Z_{in}} = R \quad (2)$$

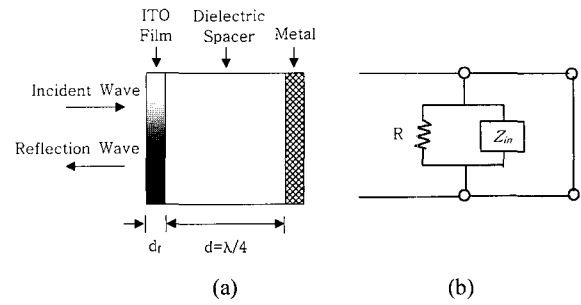


Fig. 1. Schematic description of λ/4 microwave absorber (a) and its equivalent circuit (b).

따라서 저항막의 면저항을 377 Ω로 맞추면 임피던스 정합 (Z₀ = R = 377 Ω)에 의해 무반사 흡수체를 구성할 수 있다.

유전체 내의 파장은 식 (3)에서와 같이 유전상수가 클수록 줄어들기 때문에 박형의 λ/4형 흡수체를 구성하기 위해서는 사용 주파수대역에서 유전상수가 큰 재료의 합성이 중요해진다.¹²⁾

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\left[\frac{1}{2} \epsilon_r' \sqrt{1 + \tan^2 \delta} + 1 \right]^{1/2}} \quad (3)$$

여기서 λ₀는 자유공간에서의 파장, tan δ는 유전손실계수(= ε_r''/ε_r')이다. 따라서 본 연구에서는 λ/4 spacer 재료로 고유전을 재료인 BaTiO₃와 완화형 강유전체를 선택하였고, 377 Ω의 저항막으로 ITO를 선정하였다.

3. 실험 방법

3.1. 유전체의 제조

본 실험에 사용된 유전체의 종류는 BaTiO₃(약칭 BT), 0.9 Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.1PbTiO₃(약칭 PMN-PT), 0.8Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.2Pb(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃(약칭 PMN-PZN)이었다. BT 시편 제조에 사용된 원료분말은 시약급의 BaCO₃와 TiO₂이었고, 몰비 1:1로 불필에서 24시간 습식 혼합한 분말을 1100°C에서 2시간 하소하였다. 하소된 분말에 PVA 결합재를 0.5 wt.% 첨가한 후 toroidal 형태(내경 3 mm, 외경 9 mm)의 성형체를 제조하였다. PVA 결합재를 500°C에서 2시간 동안 제거한 후 1300°C에서 2시간 동안 소결하였다. 소결 시편을 APC-7 beadless airline 치구에 맞도록 내경 3 mm, 외경 7 mm로 정밀하게 가공하였다.

PMN-PT 시편 제조에 사용된 원료분말은 시약급의 PbO, MgO, Nb₂O₅, TiO₂이었다. 먼저 MgO와 Nb₂O₅를 혼합하여 MgNb₂O₆ columbite 상을 형성하였다. 이 때 MgO의 경우 3 wt.%를 과량 첨가하여 columbite 상의 형성을 촉진하였다.¹³⁾ 혼합 분말을 750°C에서 4시간 하소하여 MgNb₂O₆ columbite 상을 합성하였다. MgNb₂O₆

columbite와 PbO(과량 1 wt.%), TiO₂ 분말을 칭량하여 다시 24시간 동안 습식 혼합하였다. 혼합 분말을 900°C에서 2시간 하소하였고, 하소한 분말을 다시 습식방법으로 분쇄한 후 건조하였다. 성형은 BT 시편 제조 시와 동일하게 하였다. 성형체를 500°C에서 2시간 유지하여 PVA 바인더를 제거하였으며 1200°C에서 2시간 소결하였다.

PMN-PZN 시편 제조에 사용된 분말은 PbO, MgO, ZnO, Nb₂O₅ 및 TiO₂이었다. 먼저 MgO와 Nb₂O₅를 혼합하여 MgNb₂O₆ columbite 상을 합성하고, ZnO와 Nb₂O₅를 혼합하여 ZnNb₂O₆ columbite 상을 합성하였다. 이 때 columbite 상의 형성을 촉진하기 위해서 MgO를 3 wt.% 과량 첨가하였다. 불밀에서 혼합한 후 750°C에서 2시간 동안 하소하여 MgNb₂O₆ columbite 상과 ZnNb₂O₆ columbite 상을 합성하였다. MgNb₂O₆ columbite와 ZnNb₂O₆ columbite, 그리고 PbO(과량 1 wt.%) 분말을 불밀에서 혼합한 후 900°C에서 2시간 하소하여 PMN-PZN 분말을 제조하였다. 이후 성형조건은 PMN-PT 제조 시와 동일하다. 성형체는 500°C에서 2시간 유지하여 PVA 바인더를 제거하였으며, 이 후 5°C/min로 승온한 후 1000°C에서 3시간 동안 소결하였다.

PMN-PT와 PMN-PZN 성형체를 소결할 때 PbO의 휘발을 억제하기 위해 시편을 동일 조성의 분말로 덮고 알루미늄 도가니로 다시 밀봉하는 방법을 채택하였다. 소결 후 제조된 PMN-PT, PMN-PZN 시편도 BT와 마찬가지로 APC-7 beadless airline 치구에 맞도록 내경 3 mm, 외경 7 mm로 정밀하게 가공하였다.

3.2. ITO 박막의 제조

ITO 박막은 RF magnetron co-sputtering 장치를 이용하여 제작하였다. 스퍼터링 가스는 순도 99.99%의 Ar를 사용하였으며 반응성 가스는 순도 99.99%의 O₂를 사용하였다. 진공조 내부의 음극 타겟으로는 직경이 2 inch 인 InO₂ (99.99%)와 Sn (99.999%)을 사용하였다. 기관으로 앞서 설명한 유전체 (BT, PMN-PT, PMN-PZN)를 15 mm × 25 mm의 사각 평판 (전기전도도 측정용)과 내경 3 mm, 외경 7 mm의 toroidal 형태(전파흡수능 측정용)의 두 가지로 가공하여 사용하였다. 표면의 오염 물질을 제거하기 위해 초음파 세척기를 사용하여 아세톤, 알코올, 증류수에서 각각 5분간 세척하고 건조하였다.

진공은 로터리 펌프를 사용하여 5 × 10⁻² Torr까지 배기시킨 후, 터보 펌프를 이용하여 5 × 10⁻⁵ Torr 이하로 초기진공도를 유지하여 스퍼터링 시 잔류가스의 영향을 최소화하도록 하였다. 타겟의 표면산화 및 오염을 제거하고 플라즈마의 안정화를 위해 예비 스퍼터링을 3분간 행하였다. Table 1에 증착 조건을 나타내었다.

3.3. 물성분석

합성한 분말의 결정구조를 조사하기 위해 X-선 회절 분석을 하였다. 소결체의 입자 크기와 형태를 주사전자

Table 1. Deposition conditions for ITO films.

Parameters	Deposition Condition
Target-Substrate Distance	5 cm
Initial Pressure	< 5 × 10 ⁻⁵ Torr
Working Pressure	1 × 10 ⁻² Torr
Substrate Temperature	200°C
Ar Flow Rate	30 sccm
O ₂ Flow Rate	10 sccm
RF Input Power	InO ₂ : 120 W, Sn: 20~60 W
Pre-sputtering Time	3 min
Deposition Time	30~60 min

현미경으로 관찰하였다. 강유전체 시편(BT, PMN-PT, PMN-PZN)의 복소투자율 및 복소유전율을 반사/투과법(일명 S-parameter법)에 의해 측정하였다. 측정된 반사산란계수(S₁₁)와 투과산란계수(S₂₁)로부터 복소투자율 및 복소유전율을 계산하였다. 전파흡수능에 대한 실측은 시편의 배면을 금속 도체로 단락시킨 후 반사계수를 측정함으로써 행하였다. 이때 사용한 장비는 HP(Hewlett Packard)사의 8722D Vector Network Analyzer이고, 측정 주파수대역은 0.5~18 GHz이었다. 또한 ITO 박막의 면저항은 창민테크사의 CMT-1000으로 4단자 법을 이용하여 측정되었고, 박막의 두께는 Tencor사의 α -step 500 surface profiler를 사용하여 측정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 결정구조 및 미세조직

Fig. 2는 하소한 BT, PMN-PT, PMN-PZN 분말의 X-선 회절시험 결과이다. BT, PMN-PT 시편의 경우 perovskite 상의 합성이 완전히 이루어진 것으로 판단된다. PMN-PZN 시편의 경우, 2 θ 부근에서 pyrochlore peak¹⁴⁾가 미약하게 나타나는 것으로 보아 약간의 2차상이 존재하는 것으로 보인다.

Fig. 3은 PMN-PT 소결체의 미세조직 사진이다. 평균 입자크기는 5 μ m이고, 균일한 입자조직을 보이고 있다. BT, PMN-PZN의 경우도 이와 비슷한 미세조직을 보였다. BT, PMN-PT, PMN-PZN의 소결밀도는 각각 5.65 g/cm³(이론밀도의 94%), 7.48 g/cm³(이론밀도의 92%), 7.64 g/cm³(이론밀도의 94%)이었다.

4.2. 복소유전율의 주파수 분산특성

Fig. 4는 BT, PMN-PT, PMN-PZN 시편에서 측정된 복소유전율 ($\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$)의 주파수 분산 특성이다. 비자성체이기 때문에 모든 시편에서 $\mu_r' = 1$, $\mu_r'' = 0$ 의 복소투자율을 보였다. 대체적으로 복소유전율이 실수(ϵ_r')는 특정 주파수에서 급격히 감소하며, 그 주파수에서 유전손실(ϵ_r'')은 최대치를 보이면서 비교적 넓은 ϵ_r'' 의 주파수 분산특성을 보이고 있다. BT 시편의 경우(Fig. 4(a)), 0.5

GHz에서 ϵ_r' (초기유전율)은 90정도의 값을 갖고 ϵ_r'' 은 3.5 GHz에서 최대치(약 35)를 보인다. PMN-PT시편의 경

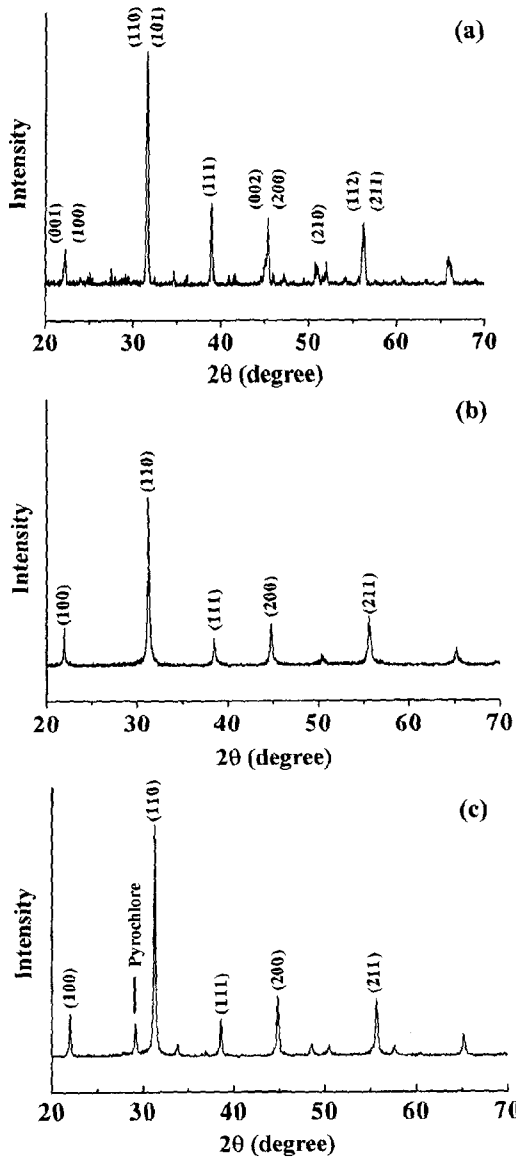


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of calcined powders: (a) BT, (b) PMN-PT and (c) PMN-PZN.

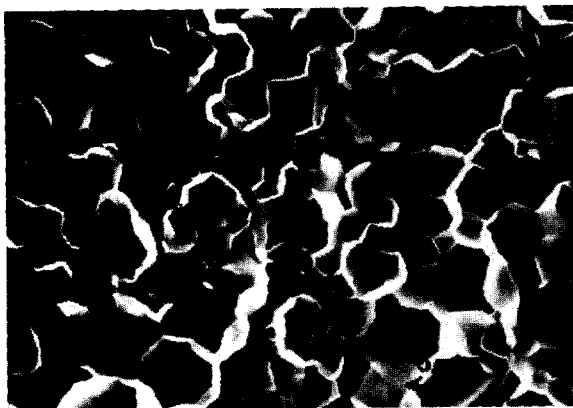


Fig. 3. Microstructure of PMN-PT.

우(Fig. 4(b)), 초기유전율은 200정도의 값을 갖고 ϵ_r'' 은 1.5 GHz에서 최대치(약 150)를 보인다. PMN-PZN 시편의 초기유전율은 300으로 세 가지 시편 중 가장 큰 값을 보였으며, ϵ_r'' 의 최대치는 3 GHz에서 최대치(약 180)가 관찰되고 있다(Fig. 4(c)).

일반적으로 전자분극(electronic polarization)의 경우 유전상수는 5이하의 값을 보이고, 이온분극(ionic polarization)에 의한 유전상수는 20을 넘지 못하기 때문에, Fig. 4에 제시한 60-200 정도의 높은 유전상수(ϵ_r')와 유전손실(ϵ_r'')은 다른 분극기구에 설명되고 있다. 분역 구조가 있는 강유전체(BT)의 경우, 마이크로파 주파수 영역에서 분극기구는 분역 분극(domain wall polarization)으로 설명되고 있다.^{6,7)} 또한 분역 구조가 형성되지 않는 완화형 강유전체(PMN-PT, PMN-PZN)의 경우에는 분극

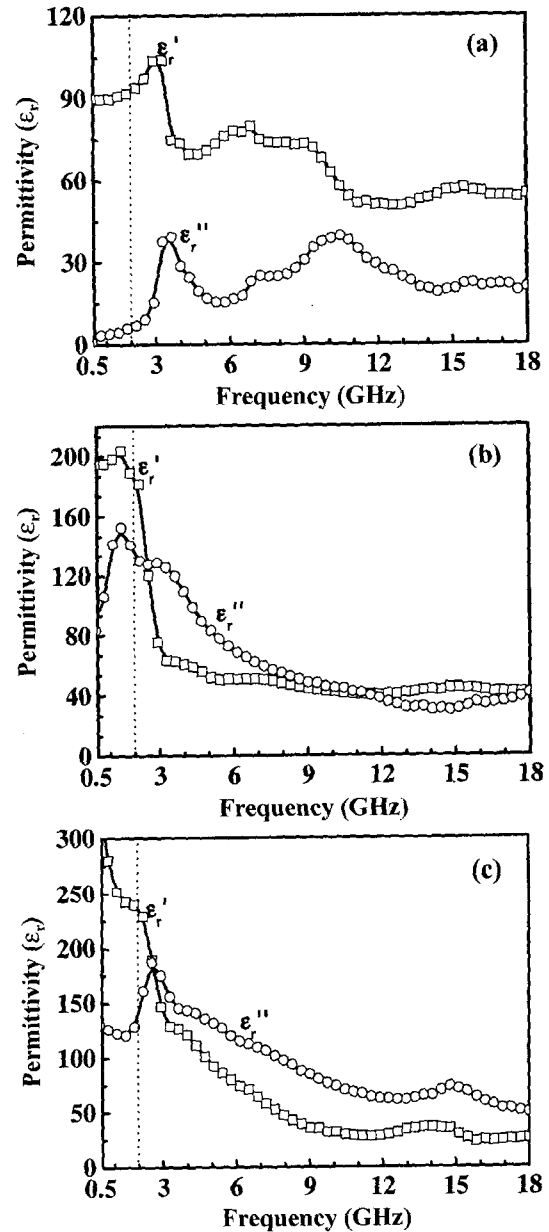


Fig. 4. Complex permittivity of ferroelectric materials: (a) BT, (b) PMN-PT and (c) PMN-PZN.

클러스터의 반전(polar cluster reversal) 또는 클러스터 계면의 진동(cluster boundaries fluctuation)이 마이크로파 대역에서의 주된 분극기구로 제안되고 있다.⁸⁾ 분극 벽의 진동 또는 분극 클러스터 진동의 완화 주파수(relaxation frequency)가 마이크로파 대역에 위치함으로, Fig. 3에서와 같이 강유전체는 높은 유전손실(ϵ_r'')을 나타내고 최대 손실 주파수는 1 GHz 이상의 마이크로파 주파수대역에 존재하는 것으로 설명할 수 있다.

4.3. ITO 박막의 미세구조 및 전기적 특성

Fig. 5는 소결 유전체(BT, PMN-PT, PMN-PZN)를 기판으로 사용하고, 그 위에 ITO 박막을 증착시킨 시편의 단면 미세조직 사진이다. 균일한 두께의 ITO 박막이 증착되었음을 볼 수 있다. ITO 박막에서 일반적으로 관찰되는 주상입자(columnar grain) 조직을 보이고 있다.¹⁵⁾

$\text{In}_{2-x}\text{Sn}_x\text{O}_{3-2x}$ 의 조성을 갖는 ITO 박막의 비저항은 Sn의 몰 비(x)에 의해 크게 좌우되는 것으로 알려져 있다. In 자리에 치환되어 들어가는 Sn은 n-type 도판트의 역

할을 하기 때문에 Sn의 치환에 따라 비저항은 감소한다. Fig. 6은 In_2O_3 타겟의 RF 전력을 120 W로 고정시키고, Sn 타겟의 RF 전력을 20~60 W 범위에서 변화시키며 제조한 ITO 박막의 비저항을 나타낸 것이다. 기판에 따라 약간의 차이는 있으나, Sn 타겟의 전력이 30~40 W 일 때 $5 \times 10^{-2} \Omega\text{cm}$ 수준의 가장 낮은 비저항을 보이고 있다. 유리 기판에 증착된 ITO 박막의 경우, 일반적으로 In_2O_3 에 5~10%의 SnO_2 가 포함되어 있을 때 가장 낮은 비저항(약 $10^{-3} \sim 10^{-4} \Omega\text{cm}$)이 얻어지는 것으로 보고되고 있다.⁹⁾ 박막의 조성에 대한 분석은 하지 못하였으나, 상기 조성에 근접했을 때 가장 낮은 비저항을 보인 것으로 추정된다. 유리 기판에 비해 비저항이 커진 결과는 소결체 기판 내의 기공(약 6~8%)과 같은 결함 등이 영향을 준 것으로 보인다.

박막의 면저항(R)은 식 (4)와 같이 비저항(ρ)에 비례하고 두께(d)에 반비례함으로 ρ 와 d를 변화시키면서 377Ω 의 면저항을 얻을 수 있다.

$$R = \rho/d \quad (4)$$

Fig. 7은 Sn 타겟의 전력과 박막 두께에 따른 ITO 박막의 면저항의 변화를 나타낸 것이다. $0.2 \sim 1.2 \mu\text{m}$ 두께 범위 안에서 377Ω 의 면저항을 갖는 ITO 박막의 증착 조건은 In_2O_3 전력 = 120 W, Sn 전력 = 30 W인 경우 BT 기판에서는 $d = 0.6 \mu\text{m}$, PMN-PT 기판에서는 $d = 1.0 \mu\text{m}$, PMN-PZN 기판에서는 $d = 1.0 \mu\text{m}$ 일 때 377Ω 의 면저항을 얻을 수 있다.

4.4. 전파흡수특성

Fig. 8은 식 (3)을 이용하여 계산한 BT, PMN-PT, PMN-PZN 유전체의 $\lambda/4$ 이다. 주파수의 증가에 따라 $\lambda/4$ 값은 급격히 감소한다. 2 GHz에서 계산된 $\lambda/4$ 값은 BT의 경우 3.5 mm, PMN-PT와 PMN-PZN의 경우 약 2.5 mm의 값을 보였다. BT보다 PMN-PT 또는 PMN-PZN에서 $\lambda/4$ 값이 줄어든 것은 2 GHz에서 보다 높은 유전율에 기인한다. $\lambda/4$ 두께로 가공한 강유전체 시편의 전파흡수능을 Fig. 9에 제시하였다. ITO 박막이 코팅되지

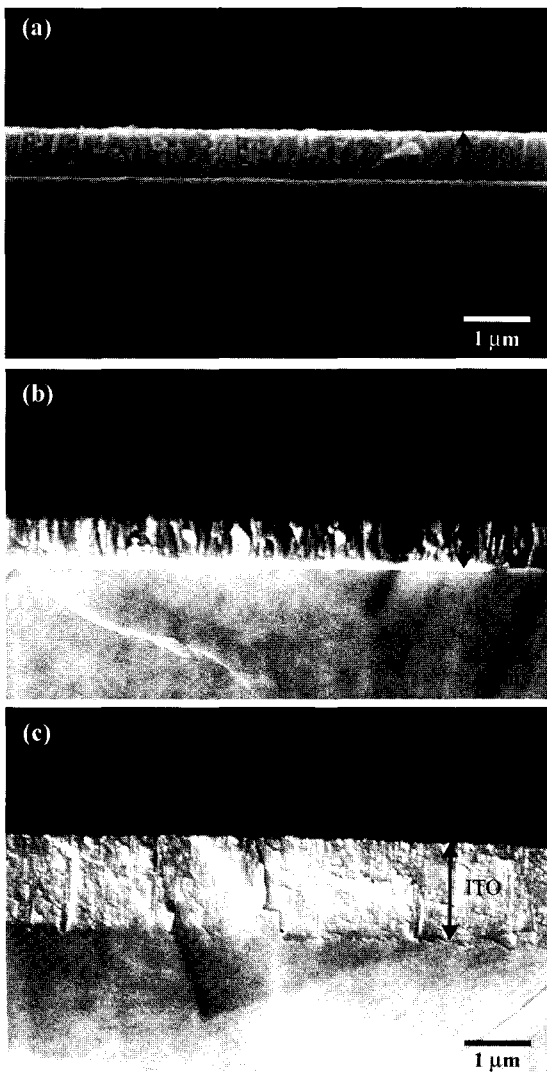


Fig. 5. Cross-sectional SEM of ITO films deposited on the substrates of (a) BT, (b) PMN-PT and (c) PMN-PZN.

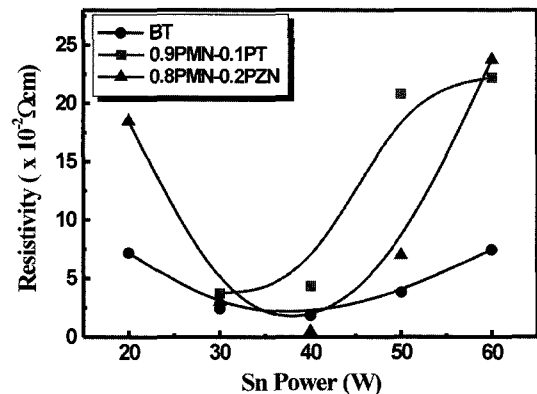


Fig. 6. Resistivity of ITO films deposited on the ferroelectric substrates.

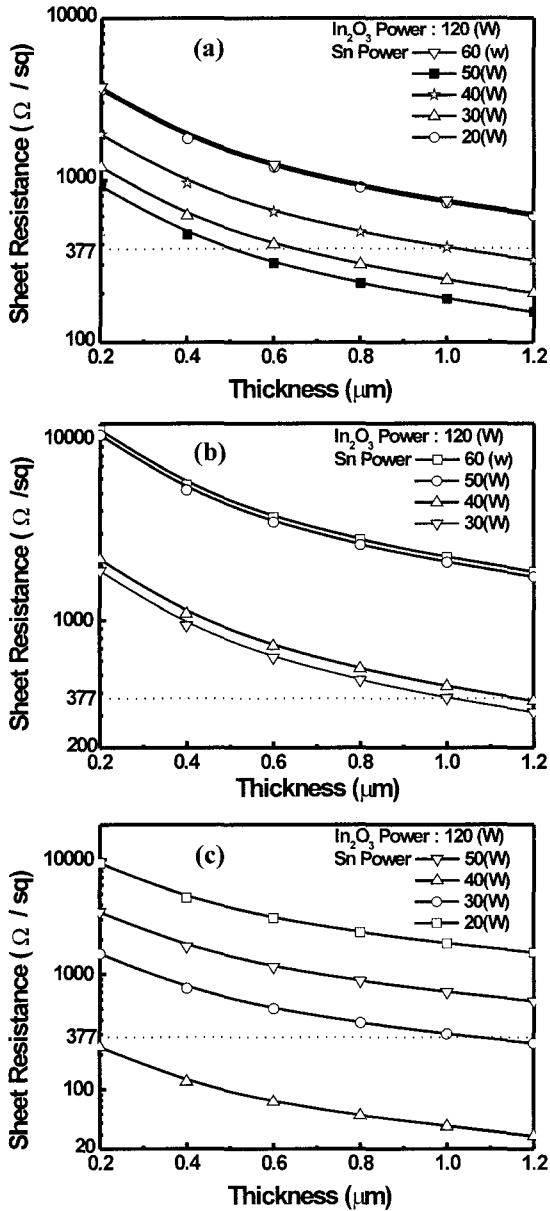


Fig. 7. Sheet resistivity of ITO films on the substrates of (a) BT, (b) PMN-PT and (c) PMN-PZN.

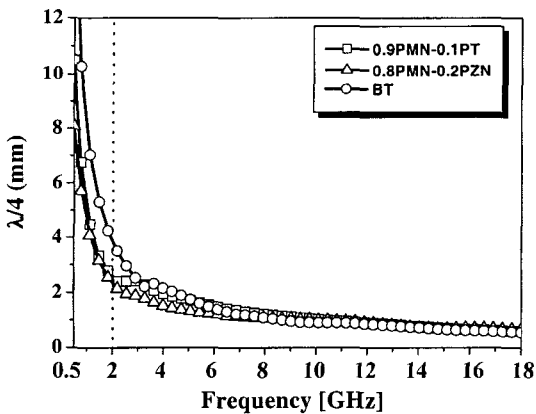


Fig. 8. $\lambda/4$ calculated from the material parameters of the ferroelectric materials.

얇은 유전체의 경우 2 GHz에서 반사손실은 약 -4.5 dB (60% 전력흡수율, BT 시편), -1 dB(20% 전력흡수율, PMN-PT 시편), -2 dB(30% 전력흡수율, PMN-PZN 시편)의 값을 보였다.

Fig. 10은 $\lambda/4$ 두께를 갖는 유전체 표면에 ITO 박막을 코팅하였을 때 측정된 반사손실을 나타낸 것이다. ITO의 박막이 377 Ω에 가까워질수록 20 dB(99% 전력흡수율) 수준까지 전파흡수능이 현저히 증가한다. 또한 ITO 박막의 면저항에 따라 전파흡수능이 매우 민감하게 변화함을 볼 수 있다. 377 Ω으로부터 벗어날수록 전파흡수능은 급격히 감소한다. 면저항 조절이 매우 중요함을 알 수 있다. $\lambda/4$ 두께를 갖는 강유전체와 377 Ω의 면저항을 갖는 ITO 박막의 조합에 의해 $\lambda/4$ 형 전파흡수체의 설

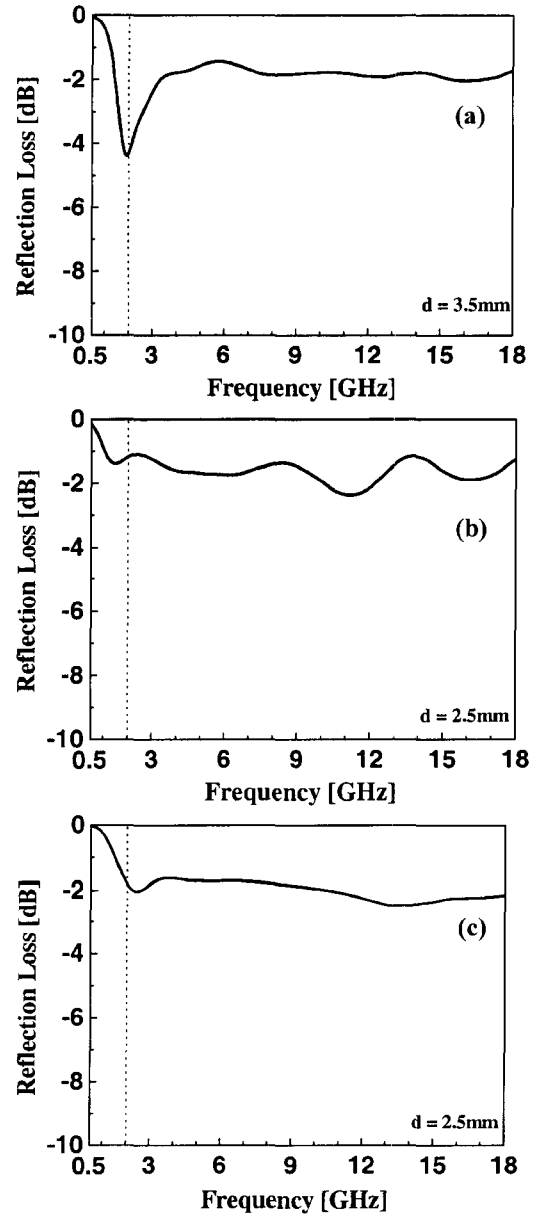


Fig 9. Reflection loss measured in the ferroelectric substrates with $\lambda/4$ thickness at 2 GHz: (a) BT, (b) PMN-PT and (c) PMN-PZN.

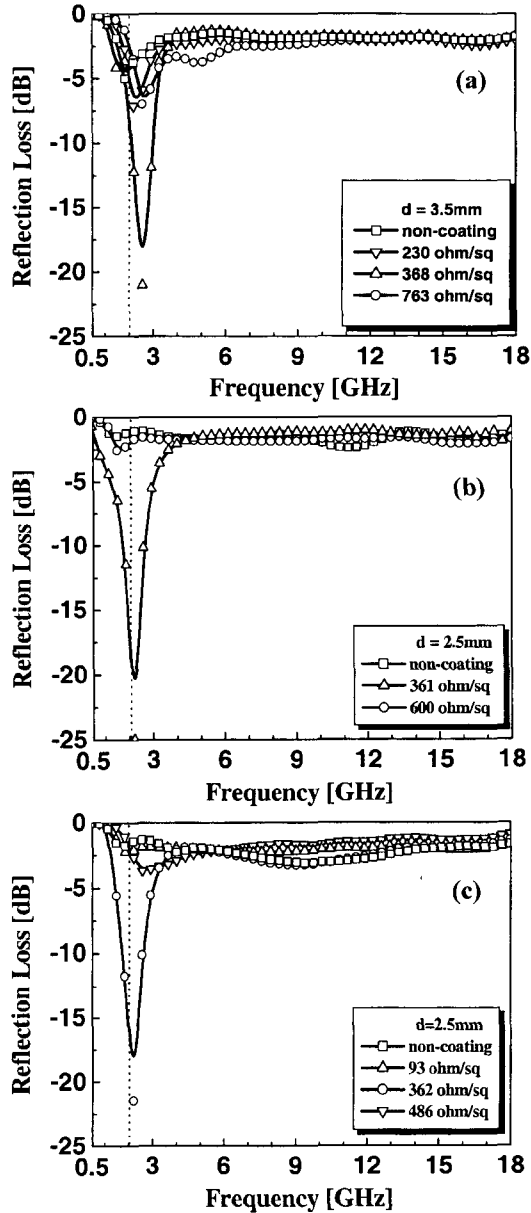


Fig. 10. Reflection loss measured in ITO-coated ferroelectric substrates with $\lambda/4$ thickness at 2 GHz: (a) BT, (b) PMN-PT and (c) PMN-PZN.

계가 가능하고, 이 원리에 의해 박형의 전파흡수체 구현이 가능함을 제시해 주고 있다.

5. 결 론

ITO박막/세라믹 유전체로 구성되는 새로운 방식의 전파흡수체를 제안하고, 이 구조에서 무반사 조건을 구현할 수 있는 강유전체의 유전상수 및 두께/주파수, 박막

저항의 함수관계를 도출하였다. 이러한 설계조건에 부합하는 세라믹 유전체로 유전상수가 1~2 GHz에서 200 이상인 BaTiO₃ 및 완화형 강유전체(PMN-PT, PMN-PZN)를 선정하고, 이들 재료의 고주파 유전특성을 조사한 결과, $\lambda/4$ spacer의 두께를 2.5 mm 수준까지 낮출 수 있었다. 임피던스 정합층으로 ITO 박막을 선정하고, 377 Ω 의 면저항을 갖는 박막의 조성 및 두께, 그리고 이를 구현할 수 있는 증착 조건에 관한 실험결과를 제시하였다. 이 두 가지 재료의 접목에 의해 ITO/유전체 구조의 $\lambda/4$ 형 전파흡수의 설계가 가능하였고, 이동통신 주파수 대역에서 두께 2.5 mm 수준에서 99% 이상의 흡수능을 최종결과물로 제시하였다. 기존의 페라이트에 비해 흡수체의 두께를 1/2 수준으로 줄일 수 있다는 것이 본 연구의 주요 결실이다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 기초기술지원사업에 의해 수행되었음.

참 고 문 헌

1. K. Akita, Ferrites: Proceed. of ICF, 1980, pp. 885-889.
2. S. S. Kim, D. H. Han and S. B. Jo, IEEE Trans. Mag., **30**, 4554 (1994).
3. S. S. Kim et al, IEEE Trans. Mag., **27**, 3594 (1992).
4. J. Smit and H. P. J. Wijn. Ferrites, Philips Technical Library, Eindhoven, Netherlands, 1959.
5. H. S. Cho and S. S. Kim, IEEE Trans. Mag., **35**, 3151 (1999).
6. L. P. Pereverzeva, Y. M. Poplavko and Y. S. You, IEEE Trans. MTT., **12**, 841 (1996).
7. Y. M. Poplavko, personal communication.
8. V. Bovtun, J. Petzelt, V. Porokhonsky, S. Kamba and Y. Yakimenko, J. Eur. Ceram. Soc., **21**, 1307 (2001).
9. K. L. Chopra, S. Major and D. K. Pandya. Thin Solid Films, **1**, 1 (1983).
10. O. Hashimoto, T. Abe, R. Satake, M. Kaneko, Y. Hashimoto, IEICE Trans. Electron., E78-B, 246 (1995).
11. Y. Naito and K. Suetake, IEEE Trans. MTT., **19**, 65 (1972).
12. A. R. von Hippel, Dielectrics and Waves, John Wiley & Sons Inc., New York (1954).
13. H. C. Wang and W. A. Schulze, J. Am. Ceram. Soc., **73**, 825 (1990).
14. O. Bouquin, M. Lejeune and J. P. Boilot, J. Am. Ceram. Soc., **74**, 1152 (1991).
15. Y. S. Jun, Y. C. Yoon and S. S. Kim, Kor. J. Mat. Res., **12**, 290 (2002).