PZT 강유전체 박막의 마이크로파 유전특성

곽민환*, 문승언, 류한철, 김영태, 이상석, 이수재
한국전자통신연구원

Microwave Dielectric Properties of Ferroelectric PZT Thin Films

Min Hwan Kwak, Seong Eon Moon, Han-Cheol Ryu, Young Tae kim, Sang Seok Lee, Su-Jae Lee
ETRI

Abstract

Ferroelectric $Pb(Zr_{1-x}Ti_x)O_3$ (PZT) films were deposited on (001) MgO single crystals using sol-gel method. Structural properties and surface morphologies of PZT films were investigated using an X-ray diffractometer and a scanning electron microscopy, respectively. The dielectric properties of PZT films were investigated with the dc bias field using interdigitated capacitors (IDC) which were fabricated on PZT films using a thick metal layer by photolithography and dry etching process. The small signal dielectric properties of PZT films were calculated by a modified conformal mapping method with low and high frequency data, such as capacitance measured by an impedance gain/phase analyzer at 100 kHz and reflection coefficient (S-parameter) measured by a HP 8510C vector network analyzer at 1 - 20 GHz. The IDC on PZT films exhibited about 67% of capacitance change with an electric field of 135 kV/cm at 10 GHz. These PZT thin films can be applied to tunable microwave devices such as phase shifters, tunable resonators and tunable filters.

Key Words : PZT thin films, Tunable microwave devices, Ferroelectric devices

1. 서 론

전기장하에서 유전율이 변하는 특성을 가지는 강유전체 물질은 이상기 (phase shifter), 공진기 (resonator), 초고주파 여파기 (microwave filter)등에 적용하여 전압가변 통신 소자로 제작할 수 있어 비휘발성 메모리 분야와 더불어 강유전체 응용 소자의 한 분야로 활발한 연구가 진행되고 있다.

지금까지 전압 가변 초고주파 소자에 대한 연구에서는 주로 $Ba_{1-x}Sr_xTiO_3$ (BST) 박막이 사용되고 있으며 고온초전도체를 이용한 전압 가변 통신소자 연구에는 $SrTiO_3$(STO) 박막이 강유전체 물질로 주로 이용되고 있다. PZT는 뛰어난 유전특성과 압전특성을 가지고 있어 비휘발성 메모리, 센서 등 다양한 분야에서 연구되고 있으나 BST 박막에 비해 초고주파 영역에서 유전손실이 크다고 알려져 있어 PZT 박막의 초고주파 특성에 대한 연구는 별로 이루어지지 않고있다.

본 연구에서는 MgO 단결정 기판위에 sol-gel법을 이용하여 증착된 $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$박막을 이용하여 인터디지탈 캐패시터(interdigited capacitor :IDC)를 제작하고 저주파와 초고주파영역에서 유전특성을 관찰하여 전압가변 통신소자의 응용 가능성을 보고자 하였다.

2. 실 험

PZT 박막은 MgO (100) 기판위에 sol-gel 법을 이용하여 제작되었으며, $Pb(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O_3$ 솔루션 (Inostek Inc.)을 사용하였다. MgO (100) 기판 위에 PZT 솔루션을 도포 후 고속 스핀코터를 이용하여 3000 rpm의 속도로 60 초 간 회전 후 350 ℃에서 5 분간 솔벤트를 건조하였고, MgO 기판과 PZT 박막간의 접착력 향상과 코팅 공정의 반복에 의한 박막의 결함을 줄이기 위하여 RTA (rapid theraml

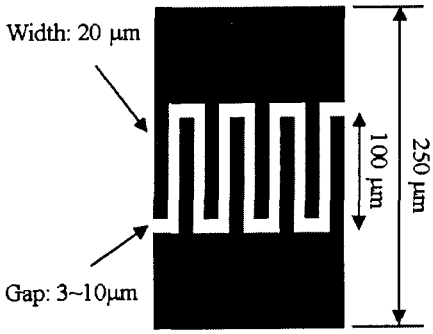

그림 1. 제작된 IDC의 개략도.

Fig. 1. Layout and dimensions of interdigitated capacitors.

Annealing)를 이용하여 650 ℃에서 2 분간 행하였다. 원하는 두께의 박막을 얻기 위하여 앞에서 기술한 코팅, 건조 과정을 2 번 반복한 후 RTA를 이용하여 750 ℃에서 2 분간 결정화 하였다. 증착된 박막은 일반적인 θ-2θ x-선 회절법을 이용하여 결정화를 분석하였으며 주사전자현미경을 이용하여 표면의 상태와 단면을 관찰하였다.

IDC의 전극형성을 위하여 멀티 타겟 DC 스퍼터링을 이용하여 금을 PZT 박막에 증착하였다. 고주파에서 금에 의한 전송손실을 줄이기 위해서 두께를 2 ㎛로 하였고 접착층으로는 10 nm 두께의 크롬을 사용하였다. IDC 패턴형성을 위하여 아르곤 이온 밀링을 이용한 일반적인 사진식각공정을 사용하였으며 IDC의 형태는 그림 1에서 보는 바와 같다.

제작된 IDC의 1-port 마이크로파 특성 측정을 위하여 HP 8510C 벡터 네트워크 분석기 (VNA)를 사용하였고 저주파 캐패시턴스 측정은 임피던스 게인/패이저 분석기(solatron SI-1260)를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

MgO (100) 기판위에 sol-gel 법을 이용하여 제작된 PZT 박막의 x-선 회절 분석한 결과를 그림 2에 나타내었다. XRD 패턴에서 보는 바와 같이 제작된 PZT 박막은 페로브스카이트 형태로 잘 결

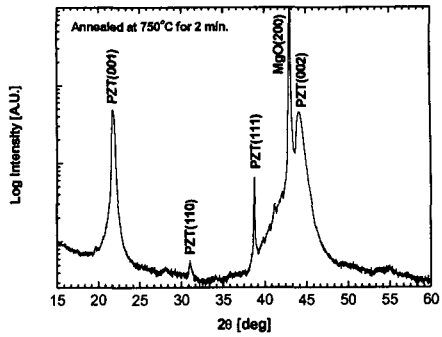

그림 2. 750℃에서 2분간 열처리한 PZT 박막의 XRD 패턴.

Fig. 2. XRD pattern of PZT thin film was annealed at 750 ℃ for 2 minutes.

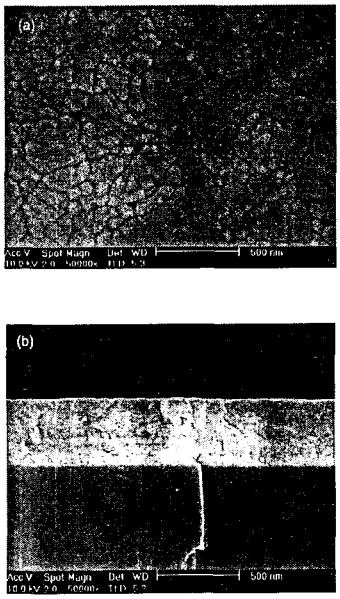

그림 3. PZT 박막의 표면과 단면 사진.

Fig. 3. (a)Surface and (b) cross-sectional SEM micrograph of the PZT film.

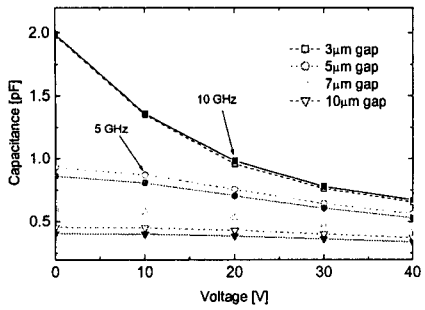

그림 4. 5 GHz와 10GHz에서 IDC의 DC 전압 의존성.

Fig. 4. DC bias voltage dependence of IDC at 5 and 10 GHz.

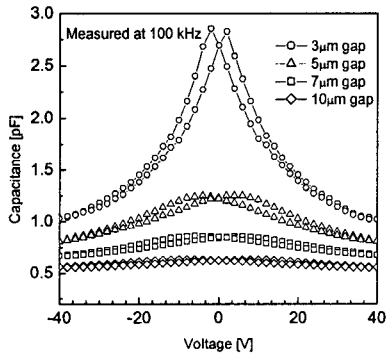

그림 5. 인가전압에 따른 IDC의 캐패시턴스 변화.

Fig. 5. Bias voltage dependant measured capacitance of the IDC.

정화가 이루어 졌음을 알 수 있다. 그림 3은 제작된 PZT 박막의 표면과 단면에 대한 주사전자현미경 사진이다. 그림 3 (a)에서 보는 바와 같이 박막의 표면에 다른 이차상의 생성 없이 깨끗한 PZT 박막을 얻을 수 있었고 입자의 평균 크기는 약 120 nm 였다. PZT 박막의 두께는 그림 3 (b)의 단면 사진에서 390nm 임을 알 수 있다.

제작된 IDC의 S-파라메터(S_{11})는 HP8510C 벡터 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. 이 때 DC 바이어스 인가 전압은 0 - 40 V까지 변화시켰으며 1 - 20 GHz 주파수 영역에서 측정하였다. 1-port 측정된 IDC의 S-파라메터로부터 캐패시턴

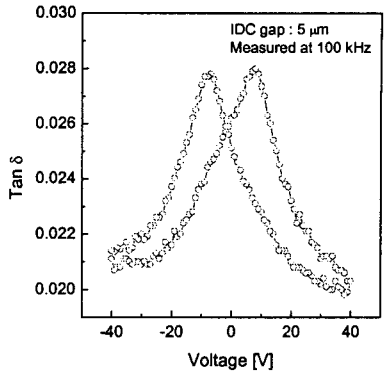

그림 6. IDC의 간격이 5 ㎛일 때 인가전압에 따른 tan δ 변화.

Fig. 6. Bias voltage dependant measured tan δ of the IDC at 5 ㎛ gap.

스를 계산하였으며 이 때 저항-캐패시터 병렬 모델을 이용하였다. 그림 4에서는 5 GHz와 10 GHz에서 IDC의 캐패시턴스-전압 관계를 보여주고 있으며 10 GHz에서 전압에 따른 캐패시턴스의 변화가 더 크게 나타남을 보여준다. 인가전압을 0 - 40 V 변화시켰을 때 IDC의 간격이 각각 3, 10 ㎛에서 67 %와 17%의 캐패시턴스 변화를 보였다.

IDC의 저주파 특성 측정을 위하여100 kHz 주파수에서 임피던스 게인/페이저 분석기를 사용하여 캐패시턴스와 tanδ를 측정하였으며, 인가전압의 변화는 마이크로파 특성 측정에서와 마찬가지로 0 - 40 V로 하였다.(그림 5, 6)

IDC 간격이 10 ㎛에서 3 ㎛로 변화하여 DC 전기장의 세기가 증가했을 때 캐패시턴스는 변화율은 10~64 %로 증가함을 보였다.(그림 5)

그림 6은 IDC의 간격이 5 ㎛일 때 tan δ 값을 나타낸 것이다. 인가전압이 0 - 40 V로 변할 때 측정한 tan δ 값은 0.028 - 0.02를 나타내었다.

마이크로파 측정에서와 같은 결과로 볼 때 sol-gel 법으로 제작된 작은 유전손실과 높은 캐패시턴스의 변화를 가지는 PZT 박막은 전압가변 마이크로파 소자의 응용에 적용 될 수 있음을 알 수 있다. sol-gel 법의 경우 대면적 박막을 대량생산할 수 있는 점 또한 큰 의미가 있다.

4. 결 론

PZT 박막은 마이크로파 영역에서 높은 유전 손실을 가지기 때문에 전압가변 마이크로파 소자 응용에 적합하지 않다고 알려져 있으나, 본 연구에서는 sol-gel 법을 이용하여 제작된 양질의 PZT 박막의 경우 40 V의 작은 인가전압의 변화에서 낮은 유전손실(tan δ = 0.028 - 0.02)과 높은 캐패시턴스 변화율(~ 67 %)을 보였다. 이와같은 뛰어난 마이크로파 특성을 볼 때 PZT는 전압가변 마이크로파 소자 응용에 가능성이 큰 물질로 판단된다.

참고 문헌

[1] S. E. Moon, E. K. Kim, S. J. Lee, S. K. Han, K. Y. Kang and W. J. Kim, Ferroelectrics **272**, 333 (2002)

[2] W. J. Kim, W. Chang, S. B. Qadri, J. M. Pond, S. W. Kirchoefer, D. B. Chrisey and J. S. Horwitz, Appl. Phys. Lett. 76(9), 1185 (2000)

[3] A. T. Findikoglu, Q. X. Jia, I. H. Campbell, X. D. Wu, D, Reagor, C. B. Mombourquette and D. McMurry, Appl. Phys. Lett. 66(26), 3674 (1995)

[4] H. Fuke, Y. Terashima, H. Kayano, M. Yamazaki, F. Aiga, and R. Katoh, IEEE Trans. Microwave Theory Tech. 11, 434 (2001)

[5] L. Lian and N. R. Sottos, J. Appl. Phys., 87(8), 3941 (2000)

[6] S. J. Lee, S. E. Moon, W. J. Kim, and E. K. Kim, Integrated Ferroelectrics, 37, 225 (2001)

[7] X. J. Meng, J. L. Sun, X. G. Wang, T. Lin, J. H. Ma, S. L. Guo, and J. H. Chu, Appl. Phys. Lett. 81(21), 3674 (2002)