

3차원 유한 요소법을 이용한 초고주파 압전 박막 공진기의 공진 모드 해석

Resonant Mode Analysis of Microwave Film Bulk Acoustic Wave Resonator using 3D Finite Element Method

정재호 · 송영민 · 이용현 · 이정희 · 고광식 · 최현철

Jae-Ho Jung · Young-Min Song · Yong-Hyun Lee · Jung-Hee Lee · Kwang-Sik Ko · Hyun-Chul Choi

요 약

본 논문에서는 압전체를 전기기계 압전파동방정식과 경계조건을 이용하여 고유치문제로 정식화하고, 3차원 유한요소법을 적용하여 초고주파 대역에서 동작하는 압전박막공진기의 공진모드 및 공진특성을 공진기의 입력 임피던스를 통하여 해석하였다. 이를 통하여 1차원 해석에서는 불가능하였던 공진기의 전극형상과 상, 하부 전극의 비대칭구조에 따른 공진특성과 스푸리어스특성 등을 추출하였다. 본 논문에서 제안한 방법으로 계산된 공진주파수를 Mason 등가모델 해석결과 및 실제 제작한 ZnO 압전박막공진기의 공진특성과 비교한 결과 정확하게 일치함을 확인하였다. 또한 두께진동모드로 동작하기 위한 최적의 길이와 두께의 비가 20 : 1 이고 최소한의 길이와 두께의 비가 5:1 이상임을 알 수 있었다.

Abstracts

In this paper, the resonant characteristics and modes of the film bulk acoustic wave resonator (FBAR) used in 1~2 GHz frequency region are analyzed by its input impedance which was calculated by three dimensional finite element method formulated as eigenvalue problem using electro-mechanical wave equation and boundary condition. It was extracted that the resonant and the spurious characteristics considering the effects of electrode area and shape variation and unsymmetry of upper and lower electrode. Those effects couldn't be analyzed by one dimensional analysis, e.g. Mason equivalent model. The simulation results was confirmed by comparing with the simulation data from Mason model analysis and the measured data of the ZnO FBAR fabricated using micro-machining technique. Also, through the simulation of the area variations of FBAR, it was obtained that the optimum ratio of length and thickness is 20:1 and the minimum ratio is 5:1 to operate thickness vibration mode.

I. 서 론

이동통신 수요의 증가와 더불어 단말기의 수요 또한 급속하게 증가하고 가입자수의 증가와 함께 통화품질의 향상을 요구하게 됨으로써 이동통신 단

말기에 사용되는 MW 소자의 크기나 특성 역시 더욱 향상될 필요성을 가지게 되었다. 현재의 셀룰라, PCS 혹은 향후의 IMT2000 등에서 이동통신 단말기의 MW 전치단에 사용되는 1~2 GHz 대역의 초고주파용 수동소자로는 MW 듀플렉서, MW 필터 등

경북대학교 전자전기공학부(School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National Univ.)

· 논문 번호 : 20001104-03S

· 수정완료일자 : 2000년 12월 21일

을 들 수 있고 이러한 필터로 흔히 유전체필터가 사용되나 이는 비록 삽입손실이 작고 주파수 특성이나 온도 안정성은 우수하나 물리적인 크기가 크고 반도체 기판 위에 실장할 수 없기 때문에 소형, 경량화와 집적회로화에는 근본적인 문제점을 가지고 있다. 그러나 압전박막공진기(Film Bulk Acoustic Wave Resonator : FBAR)를 이용한 압전박막필터의 경우는 유전체 공진기나 집중소자 LC공진기를 이용한 필터에 비해 5~8배의 초소형 구현이 가능하고, 실리콘, GaAs 기판 상에 구현함으로써 외부의 다른 능동소자와 함께 집적화도 가능하다. 또한 표면탄성파(SAW) 공진기에 비해 낮은 삽입 손실을 가지도록 구현할 수 있어 매우 우수한 MW 소자로써 주목받고 있다^{[1],[2]}.

이렇듯 우수한 특성의 압전박막공진기를 개발하기 위해서는 압전물질을 성장시키기 위한 반도체 공정의 정확도 및 재현성과 함께 이 소자에 관한 구조와 특성 시뮬레이션이 선행되어 이루어진다면 복잡한 공정의 반복성을 줄일 수 있을 것이다. 지금까지 압전박막공진기의 해석은 두께진동방향으로 일차원의 Mason 등가모델을 이용하여 주로 수행되어져 왔다^[3]. 그러나 Mason 모델을 이용한 해석은 두께에 따른 공진 주파수 추출이나 고조파 특성 해석은 가능하나 압전체 면적의 영향이나 전극구조에 따른 특성해석과 상, 하부 전극이 비대칭적으로 부분전극구조를 가질 경우의 공진특성 변화 등의 해석이 불가능하고 또한 대역내의 불요파 특성 해석이 불가능하기 때문에 압전체 및 전극의 크기를 결정하거나 임피던스 매칭을 구조적으로 해결하는데 있어 제약을 받게 된다.

따라서 본 논문에서는 전기기계 압전파동방정식과 경계조건에 3차원 유한요소법(FEM)을 적용하여 고유치 문제로서의 접근을 통해 공진주파수를 추출하고 이에 대한 공진모드를 규명하고, 전극의 단면적 크기에 따른 임피던스 특성 변화를 모드해석방법을 통해 시뮬레이션하였다.

II. FBAR 개요 및 해석구조 모델

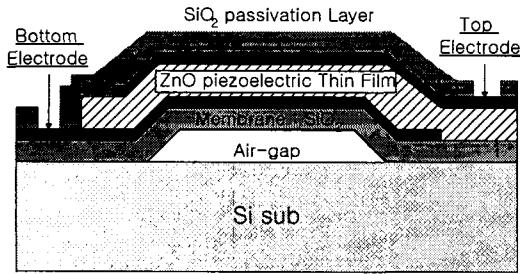
일반적으로 압전체 공진기는 두께 진동모드, 면적 진동모드, 비틀림 진동모드 등 여러 가지 진동모

드가 있으나 초고주파용 압전박막 공진기는 이중 두께진동모드를 이용하는 것으로 그림 1과 같이 두께가 $1\mu\text{m}$ 근방의 얇은 압전물질에 상, 하부 전극을 부착한 평판형 구조로 이루어져 있다.

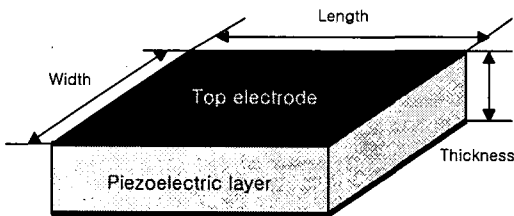
현재 개발되고 있는 대표적인 압전박막공진기는 멤브레인(Membrane) 형태^[4]와 Air gap 형태, 그리고 브레그반사기(Brag reflector)^[5] 형태가 있다. 멤브레인 형태는 멤브레인을 실리콘 p+층을 이온 성장법으로 실리콘 위에 증착하거나 SiO_2 를 실리콘 위에 증착하고 실리콘 기판 반대 면을 이방성 에칭(Unisotropic Etching)함으로써 에칭정지가 일어나도록 하여 에칭 공동(cavity)를 형성하는 방법으로 공정의 번거로움과 개별 소자로의 절단 시 소자 자체의 약점으로 많은 불량률 일으키는 문제점을 가지고 있다. 그리고 Air gap 형태의 공진기는 마이크로 머시닝기법을 이용하여 실리콘 기판 표면에 희생층을 형성해 Air gap을 만듦으로써 소자 제조 공정을 단순화시켜 종래의 멤브레인 형성을 위한 반대면 에칭에서의 긴 공정 시간을 단축시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 또 브레그반사기 형태의 공진기는 실리콘 기판 위에 탄성 임피던스 차가 큰 물질을 격층으로 증착하여 브레그 반사를 유발하여 탄성과 에너지가 전극 층 사이에 모이도록 하여 공진이 발생토록 하는 방법을 이용하는 것으로 제조시간이 절약되고 외부 충격에 강한 소자를 구현할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그림 1(a)는 Air gap 형태의 압전박막공진기에 대한 실제 구조로서 실리콘 기판 위에 실장되어 있는 형태를 나타낸다. 압전박막공진기의 구성은 전기적 신호에 의해 탄성파를 생성하는 압전체와 압전체에 전기적 신호를 인가하기 위한 상, 하부 전극으로 이루어져 있으며, 상부 전극을 보호하기 위한 수동층과 전체 공진기의 물리적 지지를 위한 membrane으로 이루어져 있다.

두께진동모드를 이용한 압전박막공진기에서 공진주파수와 주파수에 따른 임피던스 특성은 박막으로 사용되는 압전물질과 공진기의 물리적인 크기에 의해 주로 결정되므로 SiO_2 membrane과 상, 하부 전극의 두께는 공진모드의 규명에 영향을 미치지 않기 때문에, 본 논문에서는 그림 1(b)와 같이 압전체와 상, 하부 전극만으로 구성된 단순모델링 구조



(a) FBAR 실제구조
(a) Structure of FBAR



(b) FBAR 해석모델
(b) Analysis model of FBAR

그림 1. 압전박막공진기의 구조
Fig. 1. Structure of FBAR.

표 1. ZnO의 탄성, 압전, 유전상수
Table 1. Elastic, dielectric and piezoelectric parameters of ZnO.

	Parameters	Value	Unit
Elastic constant	c_{11}	1.57	$\times 10^{11}$ N/m
	c_{12}	-	
	c_{13}	0.83	
	c_{33}	2.08	
	c_{44}	0.38	
	c_{66}	0.34	
Piezoelectric constant	e_{15}	-0.45	C/m^2
	e_{31}	-0.51	
	e_{33}	1.22	
Permittivity	ϵ_{11}	8.55	$\times \epsilon_0$
	ϵ_{33}	10.20	
Density	ρ	5.72	$\times 10^3$ kg/m ³

를 사용하였다.
압전물질로는 주로 AlN이나 ZnO가 사용되고 있

으나^{[2],[6]}, 본 논문에서는 성장 조건이 저온이고 큰 전기기계 결합 계수를 가지는 ZnO를 사용하였으며, ZnO의 유전상수와 압전상수 등의 물질상수는 표 1과 같다.

III. 압전 방정식의 유한요소 정식화

압전체는 기계적 에너지와 전기적 에너지의 결합에 의해 공진기로 동작하게 된다. 그러나 기계적 에너지와 전기적 에너지의 결합이 없는 매질을 탄성체라 하며 탄성체 내의 기계적 에너지를 정의하기 위한 변수로는 응력(stress) T 와 응력에 의한 압전체 내 입자들의 위치변화를 나타내는 변위(displacement) u , 그리고 변위의 공간 변화율로 정의되는 변형(strain) S 와 시간 변화율인 입자의 속도(particle velocity) v 등이 있으며 이들은 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$T = [c] S \quad (1)$$

$$\nabla u = S \quad (2)$$

$$v = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \cdot T = \rho \frac{\partial v}{\partial t} \quad (4)$$

여기서 c 는 3×6 행렬의 탄성상수(elastic constant)이며 ρ 는 매질의 밀도이다.

주어진 식 (1)~(4)를 이용하면 식 (5)와 같은 탄성과 파동방정식을 얻을 수 있다.

$$\nabla \cdot [c] \nabla_s v = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (5)$$

압전체내에서는 기계적 에너지와 전기적 에너지의 결합이 발생하게 되므로 선형 압전 이론에 적용하면 기계적 변수인 응력, 변형과 전기적 변수인 전속밀도, 전계가 상호 결합된 형태로 다음과 같은 압전방정식으로 표현된다^[7].

$$[T] = -[e][E] + [c^E][S] \quad (6)$$

$$[D] = [\epsilon^S][E] + [e][S] \quad (7)$$

여기서 $[e]$ 는 3×6 행렬의 압전상수(piezoelectric constant)이고, $[c^E]$ 는 전장이 일정한 공간에서의 6×6 행렬의 탄성상수(elastic constant)이며, $[\epsilon^S]$ 는 변

형이 일정한 공간에서의 3×3행렬의 유전상수 (dielectric constant)를 나타낸다.

압전체의 경우 식 (6), (7)에 주어진 압전방정식을 적용하면 전기적 에너지의 결합이 더해진 다음과 같은 탄성과 파동방정식을 얻을 수 있다.

$$\nabla \cdot [c^E] \nabla_s v - \nabla \cdot [e] \frac{\partial E}{\partial t} = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \quad (8)$$

또 맥스웰 방정식에 식 (7)을 적용하면 식 (9)와 같은 기계적 에너지가 결합된 전자파 파동방정식을 얻을 수 있다.

$$-\nabla \times \nabla \times E = \mu_0 [\epsilon^S] \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} + \mu_0 [e] \nabla_s \left(\frac{\partial v}{\partial t} \right) \quad (9)$$

식 (8)을 행렬의 형태로 표현하고, 식 (9)에 발산 (divergence)을 적용하여 행렬 형태로 표현하면 변위 u 와 전위 ϕ 로 이루어진 압전지배방정식을 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$[B_u][c^E][B_u]^T[u] + [B_u][e][B_\phi]^T\phi + \rho\omega^2[u] = 0 \quad (10)$$

$$[B_\phi][e]^T[B_u]^T[u] - [B_\phi][\epsilon^S][B_\phi]^T\phi = 0 \quad (11)$$

여기서 ω 는 각주파수이고, $[B_u]$, $[B_\phi]$ 는 공간 기울기(Gradient)의 행렬 표현식이며, 위 첨자 T 는 각 행렬의 전치행렬(Transpose Matrix)을 나타낸다.

식 (10)과 (11)의 지배방정식에 대해 해석구조를 사면체 요소로 분할하고 각 요소에 선형보간함수를 적용하면 다음과 같은 적분방정식을 얻을 수 있다^[8].

$$\begin{aligned} & \int_\tau^{(e)} [B_{N_u}^{(e)}]^T [c^E] [B_{N_u}^{(e)}] [u^{(e)}] d\tau \\ & + \int_\tau^{(e)} [B_{N_u}^{(e)}]^T [e]^T [B_{N_\phi}^{(e)}] [\phi^{(e)}] d\tau \\ & - \rho\omega^2 \int_\tau^{(e)} [N_u^{(e)}]^T [N_u^{(e)}] [u^{(e)}] d\tau \\ & = \int_S [N_u][T] \cdot d\vec{s} \quad (12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \int_\tau^{(e)} [B_{N_\phi}^{(e)}]^T [e][B_{N_\phi}^{(e)}] [u^{(e)}] d\tau \\ & - \int_\tau^{(e)} [B_{N_\phi}^{(e)}]^T [\epsilon^S] [B_{N_\phi}^{(e)}] [\phi^{(e)}] d\tau \\ & = \int_S [N_\phi][D] \cdot d\vec{s} \quad (13) \end{aligned}$$

여기서 $[N^{(e)}]$ 는 각 노드에 대한 보간함수의 행렬이고, $[B_{N_u}^{(e)}]$ 는 보간함수의 공간기울기를 행렬 형태로 나타낸 것이며 τ 와 s 는 각 요소의 체적 및 표면적이다. 식 (12)와 (13)을 전체 사면체 요소의 노드에 대해 행렬 형태로 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} [K_{uu}] - \omega^2 [M_{uu}] & [K_{u\phi}] \\ [K_{u\phi}]^T & [K_{\phi\phi}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [u] \\ [\phi] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [F] \\ [Q] \end{bmatrix} \quad (14)$$

여기서 $[M_{uu}]$ 는 질량행렬, $[K_{uu}]$ 는 일반탄성체의 탄성행렬, $[K_{u\phi}]$ 는 압전체의 압전행렬, $[K_{\phi\phi}]$ 는 유전행렬, $[F]$ 는 압전체에 가해지는 외부 힘의 합이고 $[Q]$ 는 압전체 표면 전하를 나타낸다. 또한 $[u]$ 와 $[\phi]$ 은 각각 전체노드에 대한 변위와 전위의 자유도를 나타낸다.

해석하고자 하는 공진기 구조에서 경계조건은 기계적 경계조건과 전기적 경계조건으로 나눌 수 있는데, 기계적 경계조건은 식 (15)와 같이 공진기 외부에서 가해지는 힘($[F]$)이 상수로 주어지는 2차 경계조건(natural boundary condition)을 사용하고, 전기적 경계조건은 식 (16a)와 같이 전극면에 대해서는 전위($[\phi]$)가 상수로 주어지는 1차 경계조건(essential boundary condition)과 무전극면에 대해서는 식 (16b)와 같이 전하($[Q]$)가 상수로 주어지는 2차 경계조건을 사용한다.

$$[F] = 0 \quad (15)$$

$$[\phi] = C \quad (16a)$$

$$[Q] = 0 \quad (16b)$$

행렬방정식인 식 (14)에 식 (15)와 (16)의 경계조건을 적용하면 고유치 문제로 귀결되며 이로부터 공진 및 반공진주파수와 고유벡터를 구함으로써 각 모드에 대한 정상 상태 응답을 얻을 수 있다.

먼저, 공진주파수는 임피던스가 0인 단락회로의 경우이므로 상, 하부 전극면의 전위차를 0으로 한 경우의 고유치이고, 반공진주파수의 경우는 임피던스가 무한대인 개방회로의 경우이므로 전하를 0으로 한 고유치로 나타낸다. 또한 임피던스 계산은 주어진 전위에 대해 전극면의 전체전하량의 비로서

다음과 같이 표현된다.

$$Y(\omega) = \frac{I}{\phi} = j\omega \frac{Q_{total\ charge\ of\ electrode}}{\phi} \quad (17)$$

IV. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 그림 1(b)에 주어진 압전박막공진기의 해석모델에서 압전물질이 ZnO이고 두께는 1 μm, 한변의 길이가 100 μm인 압전공진기에 대해 삼차원 유한 요소법을 이용한 해석 결과를 그림 2에 보였으며, 주파수에 따른 임피던스를 나타낸다. 압전공진기는 직렬공진 형태의 공진과 병렬공진 형태의 반공진이 동시에 나타나게 되는데, 기본모드는 3.14 GHz에서 나타났으며 9.61 GHz와 15.84 GHz의 고차모드 공진주파수가 정확하게 계산됨을 확인할 수 있다. 그리고 해석적 방법과 Mason 모델과 같은 1차원 두께모드해석에서는 볼 수 없었던 공진모드가 12.64 GHz 에서 나타남을 볼 수 있는데, 이는 3차원 해석을 통해 나타난 스푸리어스 모드로서 단면이 유한함으로써 발생하는 현상이다.

그림 2에서 나타난 바와 같이 단면의 길이가 두께에 비해 매우 클 경우, 두께모드 이외의 다른 스푸리어스 모드가 잘 나타나지 않기 때문에 기본모드, 고차모드와 스푸리어스 모드 등 압전공진기에 존재할 수 있는 모드를 규명하기 위해 압전공진기의 한변의 길이를 20 μm로 하여 시뮬레이션한 결과를 그림 3에 보였다. 공진기의 단면적이 감소하면 상, 하

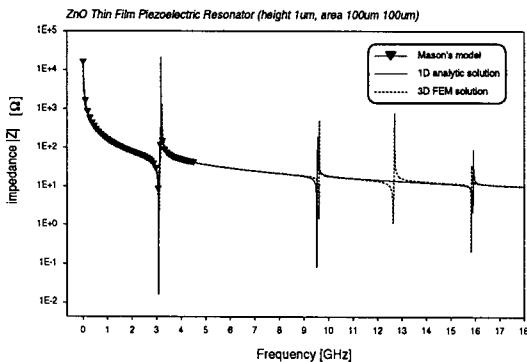


그림 2. 해석방법에 따른 임피던스 비교
Fig. 2. Comparison of impedance according to various analysis methods.

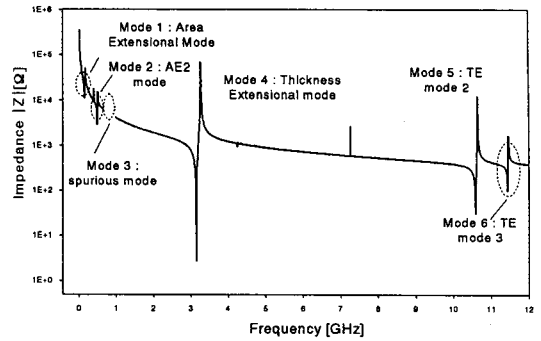
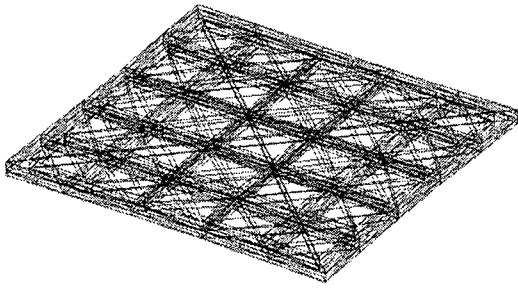


그림 3. 압전 박막 공진기의 공진 모드
Fig. 3. Resonant modes of FBAR.

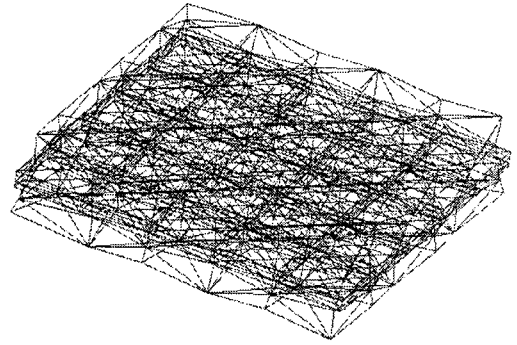
부 전극에 의한 정전 용량이 줄어들었으므로 입력 임피던스의 크기가 증가했으며, 3.14 GHz에서 나타난 두께진동모드에 의한 공진모드 외의 면적진동에 의한 공진모드와 여러 가지 공진모드가 혼합되어 나타나는 스푸리어스 모드가 나타났으며, 공진모드의 확인 및 명명은 그림 4를 통하여 수행하였다.

그림 3에서 3.14 GHz에서 나타난 모드 4가 전기 기계결합계수가 가장 크게 나타나므로 본 해석구조에서 가장 우세한 두께공진모드이며 이보다 낮은 주파수인 158 MHz와 488 MHz에서 나타나는 면적진동에 의한 공진모드와 여러 가지 진동이 혼합되어 나타나는 스푸리어스 공진 모드가 808 MHz에서 나타남을 확인할 수 있다. 그리고 모드 4의 공진주파수 이상에서 나타나는 공진모드는 두께진동모드의 고조파성분이 10.58 GHz에서 나타났으며 11.43 GHz의 공진모드는 두께진동모드와 면적진동모드가 결합된 형태이다.

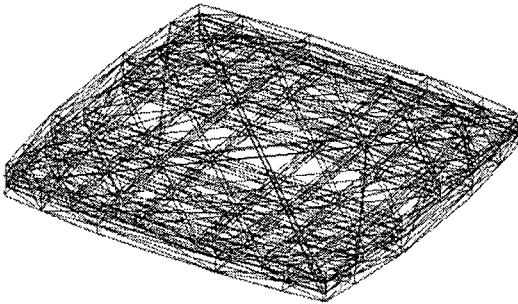
그림 3에 나타난 각 공진모드를 보다 명확히 규명하기 위해 고유치 문제로부터 각 모드에 대한 고유벡터를 구함으로써 각 진동모드에 대한 변위를 구하여 진동 형상을 그림 4에 보였다. 이러한 변위는 각 모드의 정상상태에서 압전체의 진동형상을 보여주게 되고 이는 진동모드를 규명하는 지표가 된다. 그림 4(a)는 그림 3의 모드 1에 해당되는 진동으로써 그 형상이 두께방향으로는 진동이 없고 면적으로만 공진주파수에서 진동하는 형상을 나타내므로 그림 3의 시뮬레이션 결과에서 158 MHz의 가장 먼저 나타나는 공진모드는 면적 진동모드임을



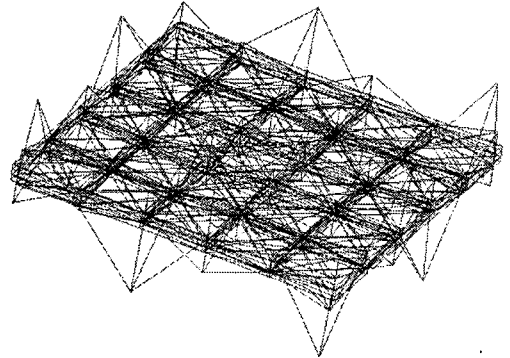
(a) 모드 1(면적진동모드)
(a) Mode 1(area vibration mode)



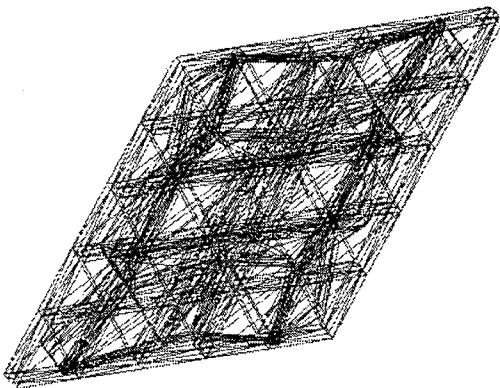
(d) 모드 4(두께진동모드)
(d) Mode 4(thickness vibration mode)



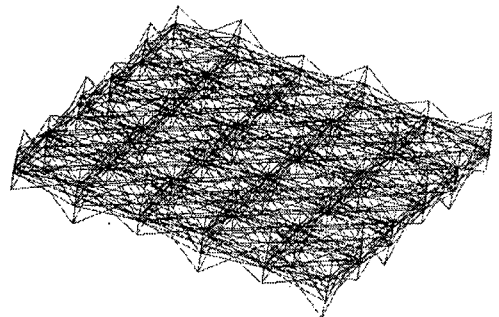
(b) 모드 2(면적진동모드)
(b) Mode 2(area vibration mode)



(e) 모드 5(두께진동고차모드)
(e) Mode 5(2nd harmonics of thickness vibration mode)



(c) 모드 3(면적진동스퓨리어스모드)
(c) Mode 3(area vibration spurious mode)



(f) 모드 6(두께진동고차모드)
(f) Mode 6(3rd harmonics of thickness vibration mode)

그림 4. 각 모드의 진동형상

Fig. 4. Vibration shapes of each resonant mode.

알 수 있다. 그림 4(b)의 진동형상 역시 두께방향으로는 진동이 없고 면적방향으로만 진동하는 공진모드로서 그림 4(a)의 고조파성분이 된다. 또한 그림 4(c)의 진동모드도 면적진동의 스프리어스모드로서 설명할 수 있다.

그림 4(d)는 그 진동형상이 두께방향으로 진동하고 그림 3의 모드해석에서 가장 먼저 나타나는 두께진동모드이고 전기기계결합계수가 가장 크므로 본 해석에 사용된 압전박막공진기 구조에서는 3.140 GHz에서 두께진동하는 기본모드라 할 수 있다. 또한 그림 4(e)와 그림 4(f)는 두께진동모드에 대한 고차모드로 설명할 수 있다.

초고주파용 압전박막공진기의 경우 소형화를 위해 단면을 작게 하면서 두께모드가 주공진모드로 동작하여야 하는데, 단면이 작아짐에 따라 나타나기 시작하는 스프리어스 모드가 두께모드공진주파수 근처에 나타나지 않도록 설계되어야 한다. 따라서 공진기의 단면적 변화에 따른 공진특성변화를 그림 5에 보였다. 압전박막공진기의 두께는 1 μm로 고정하고 한번의 길이를 1 μm, 2 μm, 5 μm, 10 μm, 20 μm, 100 μm로 변화시키면서 임피던스 변화를 시뮬레이션하였다. 단면의 길이가 감소함에 따라 임피던스가 커지고, 두께모드 이외의 스프리어스 모드가 나타난다. 길이대 두께의 비가 20 : 1 이상에서는 스프리어스 모드의 발생이 없으며, 길이대 두께의 비가 5 : 1 이상인 경우 스프리어스모드가 두께모드가 우세한 진동을 유지하는데 큰 영향이 없음을 확인

할 수 있다. 이러한 결과로부터 1 μm 두께의 압전 박막공진기를 제작할 경우 두께진동모드로 여기시키기 위한 최적의 단면적은 한번이 20 μm이고, 두께모드가 우세하기 위해서는 적어도 5 μm 이상이 되어야 한다.

마이크로머시닝기법으로 Au(1000 Å)/ZnO(1 μm)/Nr-Cr(50 Å) 압전박막공진기를 제작하여 측정된 결과^[9]는 2.950 GHz의 공진주파수를 가졌는데, 시뮬레이션 결과인 두께모드 공진주파수 3.140 GHz와 다소 차이를 보이는 이유는 실제 제작된 압전박막의 두께가 1 μm보다 두꺼우며 전극, Membrane의 질량부하효과 때문으로 추정된다.

V. 결 론

본 논문에서는 압전체를 전기기계 압전파동방정식과 경계조건을 이용하여 고유치 문제로 정식화하고, 3차원 유한요소법을 적용하여 초고주파 대역에서 동작하는 압전박막공진기의 공진주파수와 공진모드를 해석하였다.

한번의 길이가 100 μm, 두께는 1 μm인 구조의 경우 3.140 GHz의 두께진동모드가 가장 우세함을 알 수 있었으며, Mason 등가모델에 의한 해석결과 및 측정치와 공진주파수가 정확히 일치하여 본 시뮬레이션의 타당성을 확인하였다. 또한, 압전박막공진기의 공진모드를 명확히 규명하기 위해 공진기 한 번의 길이를 20 μm로 줄인 후 시뮬레이션하여 공진모드와 공진주파수를 추출하였다. 1 GHz 이하의 주파수에서 나타나는 공진모드는 면적진동모임을 확인할 수 있었고 기본두께진동모드 이후의 주파수에서 나타나는 모드는 두께진동모드의 고조파 성분임을 모드형상을 통해 확인할 수 있었다. 그리고 공진기의 단면적 크기에 따른 임피던스 특성 변화를 해석함으로써 두께진동모드뿐만 아니라 공진하는 최적의 길이와 두께의 비가 20 : 1 정도임을 알 수 있었다. 본 논문의 결과로부터 두께진동모드의 압전 박막공진기를 이용한 필터의 설계 시 불필요한 단면적의 크기를 제한할 수 있을 것이다.

앞으로 전극의 두께와 membrane의 두께가 갖는 효과와 전극의 형태 그리고 공진기의 손실 항을 첨가한 해석이 진행되면 더욱 정확한 결과를 얻을 수

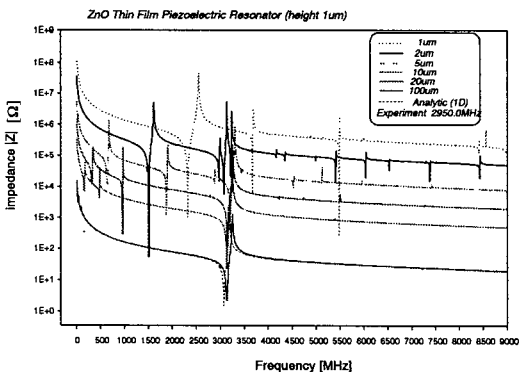


그림 5. 공진기 면적에 따른 임피던스
Fig. 5. Impedance according to the area of resonator.

있을 것이며 제작된 공진기의 공진 특성을 보다 정확하게 예측할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] H. Morkner, R. Ruby, M. Frank and D. Figueredo, "An integrated FBAR filter and PHEMT switched amp for wireless applications," *IEEE MTT-S Digest*, pp.1393-1396, 1999.
- [2] S. Horwitz and C. Milton, "Application of film bulk acoustic resonators," *IEEE MTT-S Digest*, pp.165-168, 1992.
- [3] J. F. Rosenbaum, *Bulk Acoustic Wave Theory and Devices*, Artech House. 1988.
- [4] T. W. Grudkowski, J. F. Black, T. M. Reeder, D. E. Cullen and R. A. Wagner, "Fundamental mode VHF/UHF miniature acoustic resonators and filter on silicon," *Appl. Phys. Lett.* vol. 37, no. 11, Dec., 1980.
- [5] C. W. Seabury, P. H. Kobrin and R. Addison, "Thin film ZnO based acoustic mode filters," *IEEE MTT-S Digest*, pp.1-3, 1997.
- [6] M. A. Dubois and P. Muralt, "Properties of aluminum nitride thin films for piezoelectric transducers and microwave filter applications," *J. Appl. Physics Lett.*, vol. 74, no. 20, pp.3030-3034, May, 1999.
- [7] H. Allik and T. J. Hughes, "Finite element method for piezoelectric vibration," *Int. J. Num. Meth.*, vol. 2, pp.151-157, 1970.
- [8] David S. Burnett, *Finite Element Analysis form concepts to applications*, Addison-Wesley, chap. 16, 1988.
- [9] Sang-Ho Kim, Jae-Sung Lee, Hyun-Chul Choi and Yong-Hyun Lee, "The Fabrication of Thin-Film Bulk Acoustic Wave Resonators Employing a ZnO/Si Composite Diaphragm Structure Using Porous Silicon Layer Etching," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 30, no. 3, pp. 113-115, March, 1999.

정 재 호

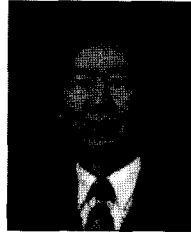


1994년 2월: 경북대학교 무기재료 공학과(공학사)
 1996년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1996년 3월~현재: 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 2000년 4월~현재: 한국전자통신연구원(ETRI) 스마트 안테나 연

구팀

[주 관심분야] 고주파 회로설계, 압전체 수치해석, RF 시스템설계 등

이 용 현



1975년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1977년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1991년 2월: 충남대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1979년 4월~현재: 경북대학교 공과대학 전자전기공학부 교수

[주 관심분야] 반도체 재료 및 공정, GaN 결정성장 및 소자, 적외선 감지기 및 공진기 등

송 영 민



1999년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1999년 3월~현재: 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 고주파 회로설계, 압전체 수치해석, RF 공진기 등

고 광 식



1980년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1983년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
 1985년~1987년: 경북대학교 전자공학과 전임강사
 1988년~1992년: 경북대학교 전자공학과 조교수

1993년~현재: 경북대학교 전자, 전기공학부 부교수
 [주 관심분야] Vision시스템, 3차원 물체 재구성, Statistical signal processing

이 정 희



1979년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1983년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
 1986년: Florida Institute Technology, Electrical and Computer Eng.(공학석사)

1990년: North Carolina State University, Electrical and Computer Eng.(공학박사)

1990년~1993년: 한국전자통신연구원 선임연구원

1993년~현재: 경북대학교 전자전기공학부 부교수

[주 관심분야] III-V 족 화합물 반도체, 소자 마이크로머시닝기술 등

최 현 철



1982년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)
 1984년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
 1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
 1989년~1990년: 대현정밀(주) 연구소장

1990년~1992년: 경북대학교 공과대학 전자공학과 전임강사

1992년~1996년: 경북대학교 공과대학 전자공학과 조교수

1996년~현재: 경북대학교 전자, 전기공학부 부교수

[주 관심분야] 전파전파 및 역산란해석, 초고주파 회로 및 시스템 설계, EMI/EMC 등