

유한요소진동해석을 통한 QCM 센서어레이 설계

QCM Sensor Array Design using Finite Element Vibration Analysis

김규학* · 이용훈* · 임홍재* · 임시형†

Kyu Hak Kim, Yong Hoon Lee, Hong Jae Yim and Si-Hyung Lim

1. 서 론

Quartz Crystal Microbalance(QCM)은 전극에서 감지된 물질의 질량에 의한 공진주파수 변화를 통해 나노그램까지 질량 변화를 측정할 수 있는 센서이다. 2개 이상의 전극이 QCM 표면에 위치할 경우 공진주파수 영역에서 각각의 전극은 다른 전극의 공진주파수 변화에 영향을 미치게 된다. 선행 연구에서는 QCM 표면에 위치한 전극의 수가 1개 또는 2개인 경우로 전극의 형상과 위치를 변수로 설정한 후 유한요소해석을 통해 각 변수에 대한 전극간의 간섭을 연구하였다.⁽¹⁾⁽²⁾ 본 연구에서는 4개의 전극을 가지는 QCM에 대한 유한요소해석을 통해 2장에서는 전극의 두께변화에 따른 QCM의 공진주파수 변화를, 3장에서는 한 개의 전극에 미소질량이 부착되었을 때 나머지 전극에서의 주파수 응답의 변화를 분석함으로써 전극간의 간섭을 파악하고자 한다.

2. 4개의 전극을 가지는 QCM의 유한요소해석

QCM에 사용되는 AT-cut 수정은 고주파수 영역에서도 안정적인 진동특성을 가지며 상온에서 온도변화에 대한 진동특성의 변화가 적은 장점이 있어 QCM의 재료로서 많이 사용된다. 수정을 Z축 방향에서 35.25°로 절단한 AT-cut의 물리적 특성을 이용하여 QCM의 유한요소해석을 진행하였고 전극의 재료는 금을 사용하였다. 유한요소해석은 COMSOL Multiphysics를 이용하고 4개의 전극을 가지고 5MHz에서 공진을 일으키는 AT-cut QCM

모델에 대하여 해석을 진행하였다. Fig 1.은 QCM의 형상과 유한요소 모델이다.

Table 1. Dimension of QCM

Thickness of quartz crystal (mm)	0.338
Radius of quartz crystal (mm)	12.8
Thickness of gold electrode (nm)	60
Radius of gold electrode (mm)	3

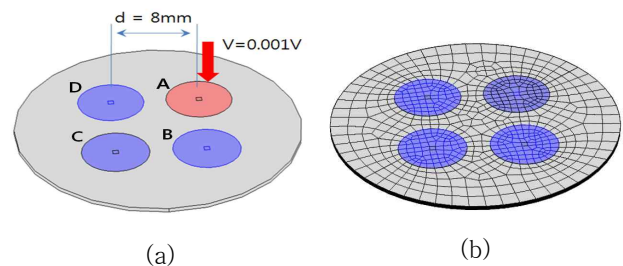


Fig 1. Geometrical model and FEM model of 4 electrode QCM (a) Geometrical model, (b) FEM model

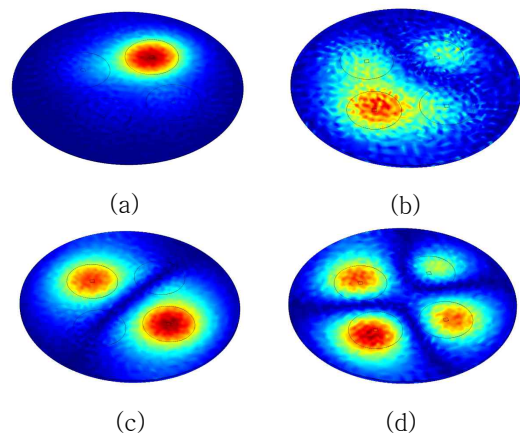


Fig 2. Thickness shear mode of 4 electrode QCM (a) 4.901688MHz, (b) 4.908227MHz, (c) 4.909806MHz, (d) 4.913741MHz

† 교신저자; 국민대학교 기계시스템공학부
E-mail : shlim@kookmin.ac.kr
Tel: (02) 914-8812, Fax: (02) 910-5037

* 국민대학교 자동차공학 전문대학원

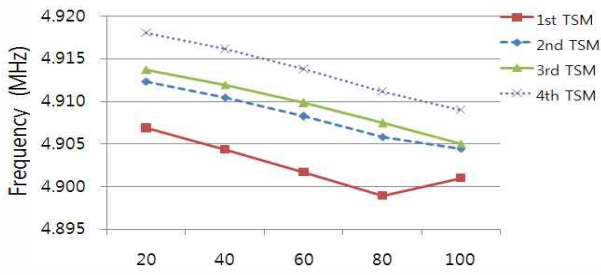


Fig 3. Resonance frequency of QCM as function of the electrode thickness

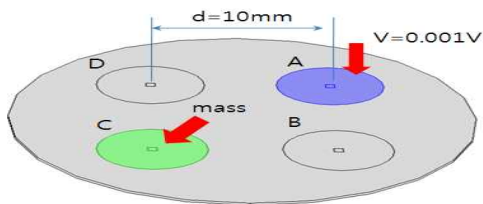
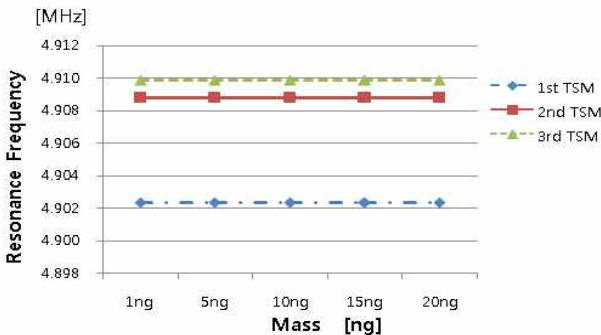
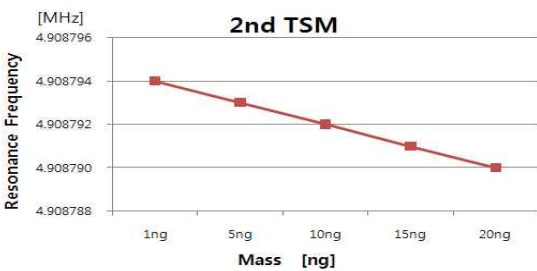


Fig 4. Geometrical model of 4 electrode QCM



(a)



(b)

Fig 5. Resonance frequency of QCM as function of mass added on electrode (a) Thickness Shear Mode (b) 2nd Thickness Shear Mode

Fig 2.은 공진주파수인 4.9MHz 영역에서 발생하는 두께방향 전단모드형상(TSM)으로 1~4의 모드 형상이 모두 전극의 위치와 동일한 것을 볼 수 있다. Fig 3.은 전극의 두께가 변할 때 1~4의 두께 방향전단모드의 공진주파수 변화를 그래프로 나타낸 것으로 전극의 두께가 증가하면 반대로 공진주파수는 선형적으로 감소하는 것을 확인할 수 있다.

3. 미소질량 부착에 대한 공진주파수 변화 해석

QCM 전극 표면에 미소질량 변화가 발생할 때 각 전극의 공진주파수가 어떤 영향을 받는지 파악하기 위해 Fig 4.와 같은 모델을 만들어 해석을 수행하였다. 전극 사이의 거리는 10mm이고 전극의 두께는 60nm이며 질량이 추가되는 위치는 전압이 입력되는 A전극과 가장 멀리 떨어진 C전극에 위치시켰다.

QCM에서 미소질량이 부착될 때 공진주파수의 변화 해석은 3가지 모드를 대상으로 수행하였다. 3가지 모드는 A전극에서 공진이 발생하는 1번 모드, 미소질량이 추가되는 C전극에서 공진이 발생하는 2번 모드, B와 D가 같이 공진하는 3번 모드이며 하나 혹은 두 개의 전극에서만 공진이 발생하는 모드이다. 해석 결과 Fig 5.와 같이 1번과 3번 모드는 미소질량 변화에 대한 공진주파수의 변화가 없었지만 2번 모드에서는 C전극의 미소질량이 증가할수록 공진주파수가 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 유한요소 해석을 이용하여 QCM 전극의 두께 변화와 전극표면의 질량변화에 대한 진동해석을 수행하였다. 그 결과 전극두께가 증가할 때 QCM의 공진주파수는 감소하는 것을 확인하였고 C전극의 표면에 질량이 부착될 때는 C전극에서 공진이 발생하는 2번 모드의 공진주파수가 줄어드는 것을 확인하였다.

향후에는 본 연구를 토대로 A,B,C,D 각각의 전극에 미소질량을 부착시킬 때 각 전극에서 발생하는 공진주파수의 변화를 최소화하기 위한 전극의 최적 위치를 찾는 연구를 진행할 계획이다.

후 기

본 논문은 한국연구재단 2010신진연구과제지원으로 수행되었습니다. (과제번호 A2010-0100)

참 고 문 헌

- (1) F. Lu., H.P. Lee., P. Lu., S.P. Lim., 2005, "Finite element analysis of interference for the laterally coupled quartz crystal microbalances" Sensors and Actuators, A 119, pp 90~99.
- (2) D.H. Wu., Y.J. Tsai., Y.T. Yen., 2003, "Robust design of quartz crystal microbalance using finite element and Taguchi method" Sensors and Actuators, B 92, pp 337~344.