

공진주파수 상호 간섭 최소화를 고려한 다중채널 질량변화 센서 시스템 개발

Multi-Channel Mass Change Sensor System Development Considering Mutual Resonance Frequency Interference

임시형† · 백형택* · 박지황**

Si-Hyung Lim, Hyung-Taek Baek and Jihwang Park

1. 서 론

수정 진동자 미세저울(Quartz Crystal Micro-balance, QCM)은 압전 특성을 갖는 quartz를 재료로 극소량의 질량변화를 고유한 공진주파수 변화를 통해 측정 가능한 센서로서, 높은 민감도와 안정성, 빠른 응답속도와 경제성 등의 장점을 지니고 있기 때문에 화학, 분자생물학, MEMS와 같이 다양한 분야에서 이용되어오고 있다.⁽¹⁾ 최근 국내외에서는 하나의 QCM 칩에 복수의 채널을 갖는 다채널 수정질량 미세저울(Multi-channel Quartz Crystal microbalance, MQCM)에 관한 연구 사례들이 수 차례 보고되었다.⁽²⁾ 일반적으로, QCM은 두께 전단 모드(Thickness Shear Mode, TSM)로 진동하기 때문에 하나의 전극에서 파생된 진동이 인접한 채널에 전파되는 현상이 발생한다. 따라서, MQCM 디바이스에서는 채널 사이에서 주파수 상호 간섭이 발생하기 때문에 이러한 간섭을 효과적으로 회피할 수 있는 구조적 설계 방안이 착안되어야 한다⁽³⁾. 본 연구에서는, MQCM 플랫폼의 개발을 위해 유한요소해석을 이용한 MQCM 칩의 상호 간섭 시뮬레이션을 수행하였으며, 십자형 홈(Cross-shaped Groove)을 이용하여 주파수 상호 간섭 회피를 고려한 MQCM 칩을 제작하고 그 효과를 검증하였다. 폭발물인 DNT(2,4-dinitrotoluene)에 특이적으로 반응하는 다종의 바이오 수용체⁽⁴⁾를 적용하여 DNT 기체를 실시간으로 다중 검출함으로써, DNT 수용체의 결합 특성을 비교분석 하였다.

2. 본 론

2.1 주파수 상호 간섭 회피를 고려한 MQCM 칩의 해석 및 플랫폼 제작

(1) 주파수 상호간섭 해석 및 검증

MQCM은 두께 전단 모드에 의해 인접한 채널로 진동이 전파되기 때문에, 본 연구에서는 Quartz 표면에 십자형 홈을 제작하여 주파수 간섭을 회피하고자 하였다. 지름 25.4 mm, 두께 0.331 mm의 quartz 칩위에 지름 6 mm, 두께 200 nm의 Au 전극 4 개를 7 mm 간격으로 배열하고 채널 사이에 십자형 홈(길이 16 mm, 폭 400 μm, 깊이 16 μm)을 삽입하여 4 개의 채널 MQCM 칩을 설계하였다. 4 개의 전극은 E-beam evaporation 공정을 이용하여 증착되었으며, 샌드블래스팅 기법을 통해 십자형태의 홈을 식각하였다. 그 다음, 상용 유한요소해석 소프트웨어인 COMSOL을 이용하여 500 ng의 질량변화를 설정하고, 홈의 깊이에 따른 주파수 간섭 회피 효과를 해석하였으며 그 결과는 Figure 1 (a)와 같다. 채널 사이의 주파수 간섭 회피 효과는 홈의 깊이에 비례하며, 깊이가 약 16 μm 이상일 경우, 홈이 없는 칩과 비교하였을 때, 약 60% 감소된 간섭량을 보였다.

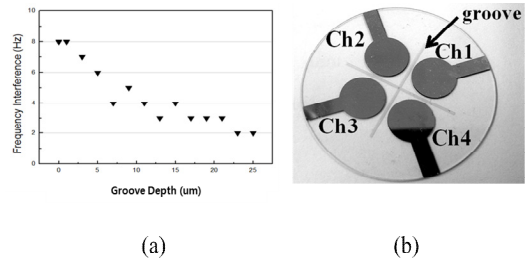


Figure 1 (a) FEM analysis of frequency interference between each channel with cross-shaped groove. (b) Multi-channel MQCM chip with a cross-shaped groove.

† 국민대학교 기계시스템공학부
E-mail : shlim@kookmin.ac.kr
Tel : 02-910-4672

* 국민대학교 기계설계대학원

** 국민대학교 기계시스템공학부

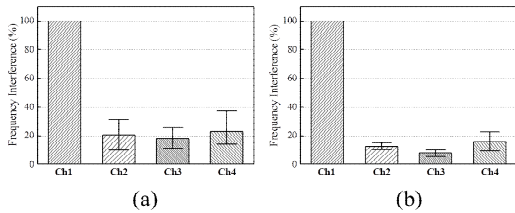


Figure 2 Frequency interference between neighboring channels (a) MQCM chip without a groove (b) MQCM chip with a groove.

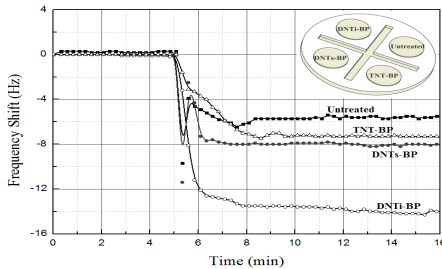


Figure 3 Frequency shift responses of a grooved MQCM chip for DNT vapor.

(2) 주파수 상호 간섭 회피효과 검증

각 채널의 공진주파수를 측정 한 후, 1-dodecanethiol을 이용하여 MQCM 칩의 Ch1에 Self-Assembled Monolayer를 형성하고 하나의 채널에 미세한 질량을 증가시켰다. 그 후, 다시 4 개 채널의 신호를 측정하여 SAM 코팅 전후의 공진주파수 변화를 비교하였다. Figure 2의 실험 결과를 살펴보면, 십자형 홈이 없는 칩의 경우 Ch1의 질량 증가에 의한 주파수 변화에 대해, 인접한 다른 채널에서는 Ch1 신호의 약 20 % 가량의 주파수 간섭을 보이는 것으로 나타났다. 반면, 십자형 홈이 삽입된 칩에서는 Ch1의 인접 채널에서 약 10 %의 주파수 간섭량을 보이며, 두 칩의 실험 결과를 비교해 보면, 십자형 홈에 의해 주파수 간섭량이 약 50 %로 감소됨을 알 수 있었다.

2.2 다종의 바이오 수용체 적용을 통한 폭발물의 실시간 다중 검출 실험

MQCM 칩의 채널 중 Ch1을 제외한 나머지 3 개의 채널에 폭발물 검출을 위해 개발된 세 종류의 바이오 수용체(DNTi-BP, DNTs-BP, TNT-BP)를 각각 적용한 뒤, 기체 상태의 DNT를 주입하여 수용체와의 반응에 따른 주파수 변화를 측정하였다. Figure 3의 실험 결과를 살펴보면, 바이오 수용체가 적용되지 않

은 Ch1에서는 약 5~6 Hz의 주파수가 감소되었으며 이는 DNT 가스에 포함된 습도 반응에 의한 질량 증가의 결과임을 예측할 수 있다. DNTi-BP가 코팅된 Ch2에서는 13~14 Hz의 주파수 감소로 가장 큰 변화를 보이고 있으며 DNTs-BP가 코팅된 Ch3에서는 8~9 Hz의 주파수가 감소하였다. TNT-BP가 코팅된 Ch4에서는 6~7 Hz의 주파수가 감소한 것을 볼 수 있다. 수용체가 코팅되지 않은 Ch1을 기준으로 보았을 때, DNT 분자에 대한 각각의 바이오 수용체의 반응은 DNTi-BP에서 가장 민감하게 나타났으며 DNTs-BP, TNT-BP 순의 반응성을 알 수 있다. 이러한 결과들은 수용체 개발단계에서 선행된 연구결과들과 일치하는 경향을 보이고 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 채널 간 주파수 상호간섭을 고려한 다채널 수정질량 센서 플랫폼 개발에 관한 내용을 다루었다. Quartz 칩에 4개의 채널을 구성하고 채널 사이에서 발생하는 주파수 간섭 현상을 십자형 홈을 이용하여 회피하는 방법이 제시되었다. 유한요소 해석을 통해 주파수 간섭 회피를 예측하고 이를 검증하기 위한 실험을 수행한 결과, 16 μm 깊이의 홈을 식각한 칩에서 주파수 간섭이 약 50 %로 감소하는 것을 확인하였다. 또한 다종의 바이오 수용체를 이용하여 DNT 기체에 대한 실시간 다중 검출을 통해 수용체간의 DNT 결합 특이도를 비교분석 할 수 있었다. 이러한 결과는 MQCM을 이용한 화학적 분석 도구로서의 활용 가능성을 제시하고 있다.

참고 문헌

- (1) G. Sauerbrey, "Use a quartz vibrator from weight thin on a microbalance," J. Phys. Vol.155, pp. 206-210, 1959.
- (2) A. Tuantranont, A. Wisitsora-at, P. Sritongkham, and K. Jaruwongrunsee, "A review of monolithic multichannel quartz crystal microbalance: A review," Analytica Chimica Acta, Vol. 687, pp. 114-128, 2011.
- (3) F.Lu, H.P. Lee, P.Lu, S.P. Lim, "Finite element analysis of interference for the laterally coupled quartz crystal microbalances," Sensors and Actuators A, Vol.119, pp. 90-99, 2005.
- (4) Hyeon-Jun Jang, Jung-Hyun Na, Bong-Suk Jin, Won-Kyu Lee, Woong-Hee Lee, Hyun Jin Jung, Seok-Chan Kim, Si-Hyung Lim, and Yeon Gyu Yu, "Identification of Dinitrotoluene Selective Peptides by Phage Display Cloning," Bull. Korean Chem. Soc, Vol.31, pp. 3703-3706, 2010.