

MEMS Gyroscope를 위한 feed-through 노이즈 제거 기법

박경진*, 강성목*, 김호성*, 백창욱*
 중앙대학교*

Feed-through noise reduction technique for MEMS Gyroscope

Kyung-Jin Park*, Seong-Mook Kang*, Ho-Seong Kim*, Chang-Wook Baek*
 Chung-Ang University*

Abstract - MEMS 구조물은 μm 단위의 크기로 만들어지므로 각속도계와 같이 정밀한 센서를 만들 때에는 노이즈 문제를 해결하지 않으면 신호를 측정할 수가 없다. MEMS 구조물의 미세한 진동에 의해 발생하는 수 pico-coulomb의 전하를 측정해야하므로 구동 신호가 검출 전극에서 Feed-through되어 나타나는 경우 그 크기가 구동에 의한 신호보다 100 배 이상 크기 때문에 원하는 신호를 검출할 수 없다.

본 논문에서는 이러한 Feed-through 현상에 의한 노이즈를 줄이기 위하여 Guard-ring을 이용한 blocking 방법과 dummy port를 이용한 canceling 방법을 고안하고 Feed-through reduction 회로를 설계, 제작, 실험하여 그 효과를 확인하였다. 그 결과 구동신호가 6Vpp, 30kHz일 때, -53.186dBm이었던 Feed-through 신호가 -77.107dBm으로 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 노이즈를 제거하지 않은 경우 측정할 수 없었던 Q-factor를 Feed-through reduction 회로를 사용하여 측정할 수 없었던 공진주파수 약 7.018kHz에서 Q-factor가 약 2500임을 확인하였다.

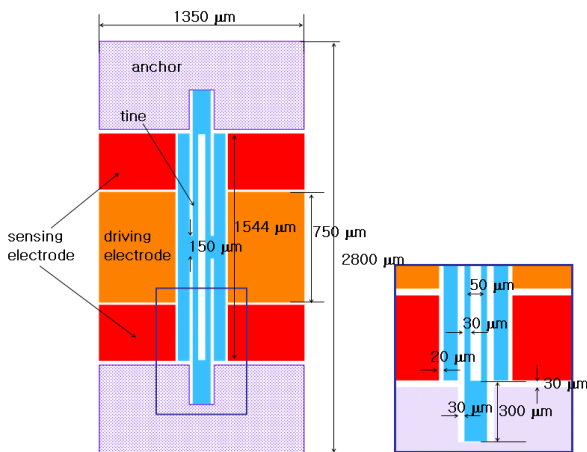
1. 서 론

MEMS 각속도계는 MEMS 공정을 이용한 물체가 회전하는 속도(각속도)를 측정하는 센서이다. 이는 자동차 에어백, 정밀 유도 미사일 등에 장착되어 미세한 변위가 발생하는 것을 감지하게 된다. 특히 MEMS 구조에서 얻어지는 신호의 크기는 수 pico-coulomb단위이므로 노이즈를 제거하는 것이 그 성능에 큰 영향을 미친다.

본 논문에서는 MEMS 각속도계의 Q-factor를 구하는 실험을 통하여 입력 신호가 출력 단에 Feed-through되는 것을 blocking 방법과 canceling 방법으로 제거하는 기법을 제안하고 그 실험 결과를 제시하였다.

2. 본 론

2.1 MEMS 각속도계의 구조



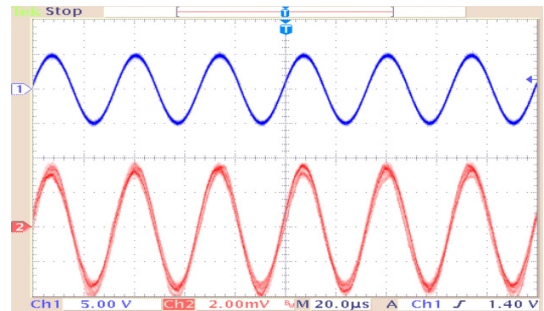
〈그림 1〉 수정 진동자 도면 (DETF)

〈그림 1〉은 이번 실험에 사용한 수정 진동자 전체의 모습이다. 빗으로 표시된 부분은 제작 후 부유가 되는 부분이고 나머지 검출전극, 구동전극, 고정부 부분은 제작 후에도 고정되어 있는 부분이다. 소자 사이는 $1350\ \mu\text{m} \times 2800\ \mu\text{m}$ 이며, 모드 이격을 위해 필요한 shoulder의 너비와 길이는 각각 $110\ \mu\text{m}$, $300\ \mu\text{m}$ 이다.

2.2 Feed-through 신호의 측정

Feed-through 신호의 특성을 알아보기 위해 함수발생기의 출력단 전극과 오실로스코프의 입력단 probe 전극사이의 거리를 1cm 로 하고 출력신호를 5Vpp로 하였다. 그 결과 검출된 신호는 〈그림 2〉의 아래 파형과 같이 동 위상이며 약 7mVpp로 입력신호의 약 0.14%였다. 그러나 DETF에서 구동전극과 검출전극 사이의 거리는 약 $300\ \mu\text{m}$ 이므로 Feed-through 신호의 크기는 더욱 커질 것이다. 이를 확인하기 위해서 DETF로 실험한 결과, 구동신호가 6Vpp일 때 Feed-through 신호는 구동신호와 위상이 같고 크기가 400mVpp으로 약 6.66%였다. 검출 전극에서는 구동 신호에 의해 DETF에서 발생된 Charge에 의한 신호만 출력되어야 하지만 구동 신호가 Feed-through되어 출력 단에서 측정되었다. charge에 의한 신호는 매우 작은 신호이므로 Feed-through 신호를 제거해야만 진동에 의해 발생한 charge 신호를 측정할 수 있다.

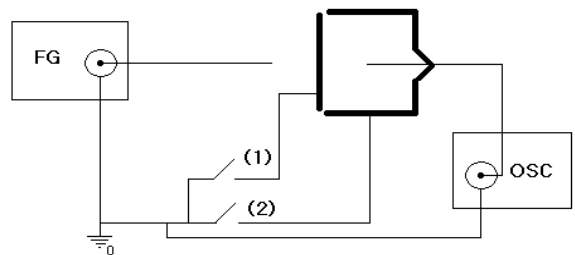
본 연구에서는 이 Feed-through 신호를 제거하기 위해 첫째 입력단과 출력단 사이에 Guard-ring을 사용하여 Feed-through 현상을 줄이는 Blocking 방법, 둘째 구동 신호와 180° 위상차가 나는 신호를 DETF의 dummy port에 인가하여 제거하는 canceling 방법을 고안하고 실험하였다.



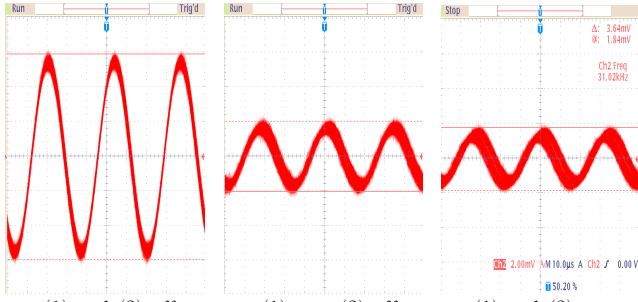
〈그림 2〉 DETF 구동 신호(그림에서 작은 신호)와 sensing port에서 측정되는 신호(그림에서 큰 신호)

2.2.1 Blocking 방법

FG에서 인가된 입력은 접촉되지 않아도 빈 공간을 통하여 Feed-through되어 sensing 단에서 측정된다. 〈그림 3〉은 Guard-ring을 사용하여 blocking 하였을 때 sensing되는 Feed-through된 신호의 크기를 비교하는 실험 환경이다. 그 결과, 〈그림 4〉와 같이 스위치 (1)과 (2)를 off 시켰을 때(좌, 11.8mVpp)에 비하여 (1)은 on, (2)는 off일 때는(중, 4.04mVpp) 65.76% 감소하였다. 또한 (1)과 (2)를 모두 on 시켰을 경우(우, 3.64mVpp) Feed-through 신호의 크기가 감소하였다. 실험 결과 Feed-through 신호의 진행 방향에 수직인 Guard-ring의 blocking 효과가 가장 크게 나타났다.



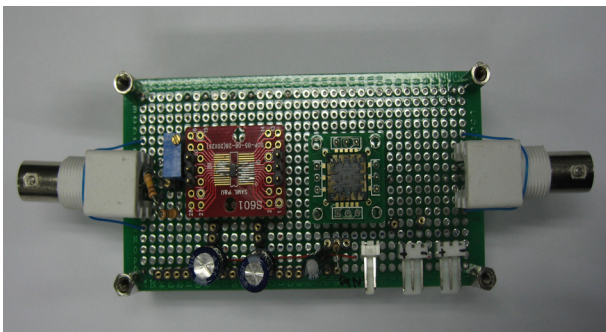
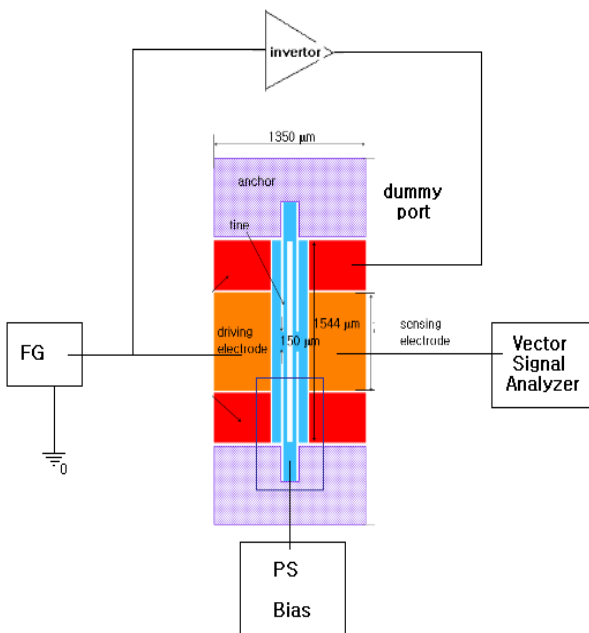
〈그림 3〉 Guard-ring의 blocking 효과 실험 환경



(1) and (2) off (1) on, (2) off (1) and (2) on
<그림 4> Guard-ring의 on/off에 따른 Feed-through 신호의 크기

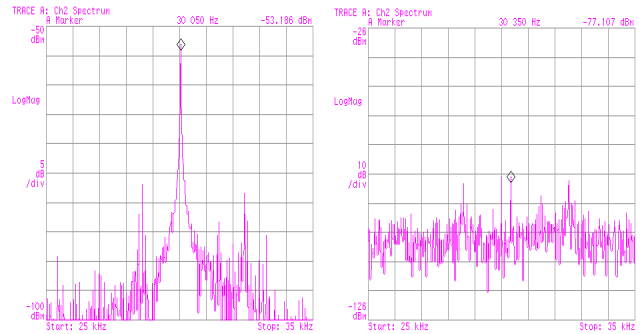
2.2.2 Canceling 방법

<그림 5>에서 Bias line을 Guard-ring으로 사용하고 Dummy port에 구동 신호와 위상차가 180°인 신호를 인가하여 cancelation하는 기법을 사용한 Feed-through reduction 회로의 개요도와 제작한 회로를 나타내었다. sensing port에서는 구동전극으로부터 Feed-through 신호와 FG 신호를 180° 위상을 반전하여 dummy port로부터 Feed-through 신호가 서로 간섭하여 canceling된다.



<그림 5> Dummy port와 Guard-ring을 이용한 Feed-through reduction 회로의 개요도(위)와 제작한 회로(아래)

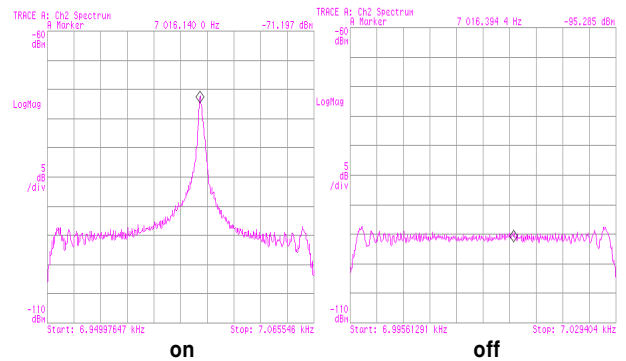
위의 회로를 이용하여 실험한 결과 <그림 6>에서 Dummy port와 Bias line을 이용한 Feed-through reduction 회로에서 canceling과 blocking을 적용하지 않은 경우(좌)와 적용한 경우(우)를 나타내었다. 구동신호는 6Vpp, 30kHz로 인가하고 Feed-through reduction을 적용하지 않은 경우 30kHz에서 -53.186dBm이었던 신호가 적용 후에 -77.107dBm으로 줄어드는 것을 확인하였다.



<그림 6> Spectrum analyzer로 측정된 Feed-through reduction 결과

2.3 Q-factor 측정

Feed-through reduction 회로를 이용하여 MEMS 구조물의 Q-factor 측정 가능성을 확인하기 위해 진공 패키징된 Si 기반 자이로스코프를 측정하였다. Bias(0V)를 off할 경우 주파수 특성은 <그림 7>의 좌측과 같고 Feed-through 신호를 포함한 노이즈 레벨은 -95dBm정도 Feed-through 신호가 무시할 정도로 줄어든 것을 확인하였다. 그 결과 Bias(5V)를 on 할 경우 <그림 7>의 우측과 같이 약 7.018kHz에서 공진하는 것을 볼 수 있었다. 이 때 Q-factor는 약 2500이었다. 공진 점에서 신호의 크기는 -71.197dBm으로 Feed-through reduction 회로를 사용하지 않았을 경우 Feed-through된 신호의 1/100보다 작았다. 그러므로 Feed-through reduction 회로를 사용하지 않았을 경우에는 공진신호를 측정할 수 없었다.



on off
<그림 7> Bias on/off MEMS 구조물의 주파수 특성

3. 결 론

본 논문에서는 MEMS 각속도계의 심각한 문제인 Feed-through 노이즈 제거를 위하여 Guard-ring을 이용한 blocking 방법과 dummy port를 이용한 canceling 방법을 사용하여 Feed-through reduction 회로를 설계, 제작, 실험하였다. 그 결과 구동신호가 6Vpp, 30kHz일 때, Feed-through reduction을 적용하지 않은 경우 30kHz에서 -53.186dBm이었던 신호가 적용 후에 -77.107dBm으로 줄어드는 것을 확인하였다. 또한 측정할 수 없었던 MEMS 각속도계의 Q-factor를 실험을 통하여 약 2500임을 확인하였다. 향후 수정기반 DETF의 진공패키징이 된 샘플을 제작하여 Si 기반 MEMS 각속도계보다 더 큰 Q-factor를 Feed-through reduction 회로로 실험하여 확인할 것이다.

감사의 글

본 연구는 방위사업청 지정 국방MEMS특화연구센터의 지원으로 수행되었음.

[참 고 문 헌]

- [1] Henry W. Ott, "Noise reduction techniques in electronic systems", WILEY, second edition, ch 6, 1988
- [2] 박경진, "MEMS 각속도계를 위한 AGC 및 전하증폭기", 대한전기학회, 하계학술대회 논문초록집, p 401, 2008