높은 동적영역을 갖기 위한 정전용량형 센서의 최적화

강대실 · 김무진* · 문원규†

Optimization of a capacitive sensor for high dynamic range

Daesil Kang, Moojin Kim*, and Wonkyu Moon†

Abstract

The capacitive sensor has a simple structure, compact size and low cost, but a small dynamic range. The small range is caused by use of gap variation. If the sensor takes area variation type with one plate moving horizontally, it can have a large measurable range. While the area variation has relatively low sensitivity, some studies have found methods to improve the sensitivity. Even though the methods are effective, parameters of the results are limited and 2 dimensional. This study provides more practical and 3 dimensional analysis and suggests relations between parameters. Using the results, the optimized design parameters of a high dynamic range capacitive sensor can be found.

Key Words : capacitive sensor, high dynamic range, sensor design

1. 서 론

정밀 측정은 과학과 공학 분야에서 매우 중요하다^[1]. 그 중에서도 특히 변위센서는 모양, 위치, 속도, 힘, 정렬 상태 등과 같은 여러가지 기계적 특성을 측정할 수 있는 기반이 된다^[2]. 게다가 최근에 급속도로 발전하고 있는 나노, 바이오 분야는 사람이 직접 다루기에는 너무 작은 크기를 가지고 있으므로, 초정밀 위치제어기 및 측정기의 필요성이 더욱 증대되었다. 이러한 초정밀 위치제어기나 측정기의 성능 기반이 되는 것 역시 변위 센서이다.

이러한 이유로 다양한 종류의 변위센서 기술이 연구 개발되고 있으며, 주사탐침 현미경(scanning probe microscope, SPM), 레이저 간섭계(laser interferometer), 광학 인코더, 자기 센서, 정전용량 센서 등 여러가지 방식이 사용되고 있다. 그 중에서 정전용량 센서는 구조적 단순성과 가격의 저렴함, 여러가지 구조물에 대한 통합 용이성, 높은 정밀도 등의 이점으로 많은 곳

에 사용된다^[3,4]. 그러나 기술 발달과 더불어 과거에는 높은 해상도에 초점이 맞추어졌던 변위 센서의 성능이, 점차 높은 해상도 뿐 아니라 넓은 측정영역을 동시에 만족하는 것에 초점이 맞춰지고 있다. 반도체 부분만 보더라도 반도체의 게이트 크기는 점점 작아지지만, 생산성 문제로 웨이퍼의 크기는 점점 커지고 있는데^[5,6], 기술의 이러한 추세는 변위측정 능력에 있어서 초정밀은 물론 대변위를 가지는, 이른바 높은 동적영역(high dynamic range)을 요구하기 때문이다. 그러나 불행히도 정전용량 센서는 높은 해상도는 가지지만, 넓은 측정영역을 가지는는 어려웠다. 이는 정전용량 센서가 수직 상대운동을 하는 이른바 ‘간극변화’ 방식을 사용하기 때문이다. 이런 단점을 해결하기 위해 정전용량 센서를 수평 상대운동을 하는 ‘면적변화’ 방식으로 사용하기 시작하였으며 그 중 일부 그룹에서는 ‘Comb-shaped’라는 이름하에 주기적인 패턴을 가진 정전용량 센서를 연구하였다^[7-9]. 이는 면적변화 방식의 정전용량 센서에 인코더의 알고리즘을 더하여, 높은 해상도를 얻기 어려운 면적변화 방식의 단점을 상당 부분 개선하였다.

이러한 성과에 힘입어 다양한 모델이 연구되고^[7,8,10-13], 최적화 또는 설계를 위한 해석이 시도 되었으며^[9,14,15], 최근에는 10^7 에 달하는 동적영역을 얻을 수 있는 가능성을 보여 준 사례도 있게 되었다^[16]. 그러나 설계를 위한 기존의 해석 및 최적화 자료는 범위가 국한적이고,

POSTECH 융합진동 트랜스듀서 실험실(Vibration and Acoustic Transducers Lab, POSTECH)

*삼성전자(Samsung Electronics)

†Corresponding author : wkmooon@postech.ac.kr

(Received : November 16, 2009, Revised : February 1, 2010,

Accepted : March 5, 2010)

사용에 제한적이다. 또, 특정 최적값을 찾아내는데 중점을 두고 있어서 실제 설계시에 사용하기에는 한계를 보인다. 따라서 본 연구에서는 면적변화형 정전용량 센서 복합적인 설계 방향을 제시함으로써, 이러한 류의 센서 특히 Comb-shaped 타입의 정전용량 센서를 설계함에 있어서 실용적인 가이드를 주고자 한다.

2. 본 론

2.1. Comb-shaped 센서

정전용량형 센서는 대부분의 경우 평행한 두개의 평판에 전극이 형성된 구조를 사용하므로, 잘 알려진 평행평판 모델의 식으로부터 출발하게 된다. Fig. 1은 이러한 평행평판의 모양과 본 논문에서 사용할 좌표의 표기법을 나타낸다. 간극변화 방식의 경우는 그림의 하판이 고정되어 있고, 상판이 Z방향으로 상대운동을 하지만, 본 연구에서 다루는 면적변화형의 경우는 하판이 고정되어 있고, 상판이 X방향으로 상대운동을 한다. 이 때 이동방향으로의 전극의 크기를 전극폭(w), Z방향 전극의 크기를 전극두께(t), 나머지 Y방향 전극의 크기를 전극길이(l), 두 평판간의 거리는 간극(d)이라고 한다. 회전 방향은 면적변화형의 진행방향과 같은 벡터를 갖는 방향을 Roll, 간극변화 방향과 같은 방향 벡터를 갖는 회전을 Yaw, 나머지를 Pitch로 둔다.

이러한 평행평판을 주기적으로 여러 개 두어 Fig. 2와 같은 모양으로 만든 것이 comb-shaped 모델이다.

이 모델은 동일한 신호를 주기적으로 얻을 수 있기 때문에 대변위에 유리한 면적변화형 정전용량 센서의 장점을 극대화 할 수 있다. 대신에 이 경우에는 위와 같이 전극의 주기(p)와 그림에는 표시되어 있지 않지만 전극의 수(n)가 설계 변수에 추가된다. 또, 실제 센서에 적용시에 고려해야할 구동조건이 단일 평행평판 모델에 비해 많고 복잡하다. 따라서 이에 상응하는 다양한

Fig. 1. A parallel plate model schematic and notation.

Fig. 2. A schematic of the comb-shaped sensor.

해석을 통한 설계 가이드가 필요하다.

2.2. 시뮬레이션

본 연구에서 사용할 성능의 척도는 민감도이다. 일반적으로 센서의 성능 척도는 높은 해상도와 넓은 측정영역 두가지이지만, 면적변화형 정전용량 센서, 특히 comb-shaped 센서에서는 측정영역을 키우는 것은 상대적으로 쉬우며, 높은 해상도를 갖는 것이 어렵다. 해상도는 실질적으로 신호대 잡음비(signal to noise ratio, SNR)에 직접적으로 비례하지만, SNR은 센서뿐만 아니라 시스템 전체의 성능을 반영하므로, 센서의 성능 척도만으로 고려할 수 있는 것은 높은 SNR을 얻을 수 있는 기반이 되는 민감도를 사용하기로 하였다. 민감도는 ‘단위변위당 정전용량 변화량’으로 정의하고, 식(1)과 같이 사용하였으며, 이 값이 클수록 성능이 좋은 것으로 간주하였다. 만약 주기 패턴이 없는 경우라면 ‘주기/2’대신 ‘전극폭’을 사용한다.

$$Sensitivity = \frac{C_{max} - C_{min}}{(period/2)} \quad (1)$$

일반적으로 센서를 설계할 때 고려해야 할 조건은 센서의 크기, 전극길이, 두께, 주기가 있으며, 원하는 정전용량을 갖기 위해서는 간극을 고려해야 한다. 간극은 센서를 접촉식으로 사용하는 경우에는 유전층의 두께를 고려해야 하므로 반드시 초기에 고려할 필요가 있다. 센서의 크기는 센서의 사용목적에 따른 기하학적 경계조건으로서 대부분의 경우 설계 전 단계에서 이미 정해진다.

단일 면적변화형 정전용량센서를 제작하는 경우라면 상관없지만, comb-shaped 센서의 경우는 가장 먼저 전극폭과 전극주기의 비를 결정하는 것이 다른 변수들을 결정하는데 용이하다. 이런 이유로 전극폭과 전극주기의 비의 최적값을 얻기 위한 연구도 진행되었다^[9,10]. 특히 본 연구에서 원하는 최적값과 유사한 결과를 주는 기존 연구가 있었지만^[9], 이는 정전용량의 변화량을 중간값으로 나눈 무차원 수를 성능의 척도로 사용하였

기 때문에, 본 연구의 목적으로 하고 있는 민감도의 척도와는 경향에서 차이를 보인다. 이 무차원 수는 정전용량의 단위 변위당 변화량이 크더라도 정전용량의 오프셋(offset)이 클수록 성능이 낮게 평가된다.

본 연구에서는 상하 전극의 크기는 동일한 경우로 한정하며, 앞서 정의한 민감도로 해석해보면, 전극폭이 주기의 약 0.35배~0.5배일 때가 가장 좋은 영역으로 나타난다. (범위 내에서 민감도 차이는 10 % 이내임) 여기에 신호 대칭성, 계산의 용이성 및 샘플 제작시의 편의성 등 설계관점을 고려하면 전극폭이 주기의 절반인 경우가 최선이다. 이러한 이유로 본 연구내용에서는 전극폭을 주기의 절반인 경우만 다루었으며, 따라서 설계를 위한 변수는 간극, 전극길이, 전극폭, 두께가 된다. 전극폭이 결정되면, 전극의 수는 센서의 크기와 구동범위의 조건에 의해 자동으로 결정된다.

해석은 상용툴인 COMSOL Multiphysics의 AC/DC-Electrostatic 모듈을 이용하였고, 2D모드와 3D 모드를 혼용하여 사용하였다. 해석 시 이동전극의 전극길이는 2D모드에서는 항상 1로 고정하였고, 3D모드에서는 10을 기본값으로 두었다. 전극폭과 간극의 단위는 동일하였으므로 전극폭과 간극은 무차원 수와 같이 다룰 수 있게 하였다. 또, 고정판의 전극은 7개, 이동판의 전극은 3개를 기본으로 하였으나 해석상의 용이성을 위해 일부 전극판의 수를 달리하여 해석한 것이 있다. 전극판의 수가 달라지면 해당하는 정전용량이 판의 수에 거의 선형으로 비례하여 변하며, 경향은 동일하다. 상대 유전율은 1, 전극폭은 1, 전극두께는 0.1, 간극은 0.2를 기본으로 사용하였고, 때에 따라 해당 인자를 변수로 두어야 할 경우에 변경하여 사용하였다.

시뮬레이션 결과를 통해 얻어진 정전용량값은 위의 인자들을 이용해 스케일링을 하여 사용할 경우 정량적인 의미도 가질 수 있지만, 실제로 중요한 것은 정량적인 값보다는 인자에 따른 정전용량의 변화 경향이다. 주요 파라미터를 비롯하여 고정 값들을 다른 값으로 사용하더라도 경향은 동일한 형태로 나오기 때문이다. 해석에 사용한 변수는 앞서 언급했던 대로, 전극폭(w), 간극(d), 전극두께(t), 주기(p), 전극길이(l)이다. 주기(p)는 전극폭(w)의 2배로 고정하여 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

간극은 식에서 볼 수 있듯이 작을수록 민감도가 좋다. 그러나 구동 중 간극을 일정하게 유지할 수 있는 능력은 무한하지 않으므로, 간극을 정함에도 일정한 규칙을 갖는 것이 좋다. 또한, 간극은 식에서는 나타나지

Fig. 3. A result of gap variation.

않는 모서리효과(edge effect 또는 fringe effect)의 영향을 받기 때문에 단순히 간극에 반비례하여 민감도가 증가하지는 않는다. 은 간극변화에 따른 정전용량의 변화이다. 여기서 두께는 0.1이다.

결과를 보면 민감도가 전극에 단순히 반비례 하지 않는다. 간극이 전극폭의 0.2배가 되는 지점을 기점으로, 0.2배 보다 작을 때와 클 때의 간극변화에 따른 정전용량의 변화 정도가 다른 것을 알 수 있다. 따라서 민감도의 이점을 보려면 간극을 전극폭의 0.2배 이하로 정하고, 간극을 일정하게 유지하기 어려운 상황에서 간극 변화에 따른 오차를 줄이는 것이 목적이라면, 간극을 전극폭의 0.2배 이상으로 하는 것이 좋다.

다음은 주기를 정하는 것이다. 주기는 간극과 더불어 센서의 민감도와 관계가 있다. 또, 주기는 해상도를 결정하는데, 직접적인 영향을 준다.

Fig. 4에서 볼 수 있듯이 센서의 크기가 정해져 있다면, 주기와 관계없이 전체 겹쳐지는 면적은 일정하게 만들 수 있으며, 전극의 한 주기에는 반드시 신호도 한 주기가 나오므로, 시스템의 SNR이 일정하다고 가정한다면, 해상도는 오로지 주기에만 의존한다. 그러나 센서의 크기가 일정할 때, 주기가 작다는 말은 모서리의 수가 많아진다는 뜻이므로, 비선형 효과인 모서리 효과가 커지게 된다. 따라서 높은 민감도를 얻기 어렵고, 이는 높은 SNR을 얻기 어려움을 뜻한다. Fig. 5는 전극폭의 변화에 따른 민감도 변화 해석 결과이다.

그래프는 겹쳐지는 전체 면적은 20으로 일정하게 두면서 위의 그림과 같이 전극의 크기만 계속 절반으로

Fig. 4. Two different periods.

Fig. 5. A result of electrode width variation.

나누어가면서 해석한 결과이다. 간극은 0.1일 때와 0.2일 때를 해석하였는데, 이 뿐 아니라 다른 값을 바꾸어 해석하더라도 겹쳐지는 면적이 일정하다면 동일한 경향을 얻을 수 있다.

기존 연구결과에서는 주기가 작아질 수록 좋은 결과를 얻을 수 있는 것 처럼 보인다^[9]. 하지만, 위의 결과를 보면 전극폭을 간극의 5배, 즉, 주기를 간극의 10배로 두는 것이 가장 좋으며, 이 이상 주기가 작아지면 다시 민감도가 떨어진다. 이는 선행 연구그룹에서 수행한 분석에서 주기를 간극의 5배 이하로 줄인 경우의 데이터가 없기 때문이다. 간극이 결정되면 주기는 간극의 10배(전극폭은 주기의 5배) 근처의 값을 갖도록 하는 것이 최적이다. 그러나 전극폭이 먼저 정해지는 경우에는 간극은 작을수록 민감도가 높아진다. 간극의 10배 이상이 되는 전극폭을 갖는 범위에서는 간극을 반으로 줄이는 것과 전극폭을 반으로 줄이는 것의 효과가 거의 유사한 것도 알 수 있다.

실제로 Fig. 4와 같은 구조를 가지며, 접촉식으로 사용하는 본 연구그룹의 정전용량 센서^[16] 전극폭 4 μm 에서 간극을 800 nm, 500 nm, 440 nm, 전극폭 10 μm 에서 간극을 836 nm, 800 nm, 400 nm, 336 nm로 제작하여 실험한 결과 데이터를 분석해 본 결과, 전극폭 대 간극의 비에 따라 민감도의 변화가 Fig. 6과 같이 나타났다.

결과는 간극 대비 전극폭의 비가 약 9에서 최대값을 가지고, 이보다 작아졌을 때 민감도가 급격히 떨어지는 Fig. 5의 그래프와 유사한 경향을 볼 수 있다. 해석값에서는 WGR이 5일 때 최대이지만, 실험결과에서는 이보다 큰 WGR이 9일 때 최대인데, 이는 간극의 컨트롤, 와이어링을 위한 도선 부분의 추가 임피던스에 의한 효과 등 여러가지 다른 변수에 의해 간극 증가 효과가 발생했기 때문으로 분석된다.

센서의 크기가 정해져 있다면, 주기가 결정됨에 따

Fig. 6. Relation of the sensitivity and WGR.

라 전극의 수도 결정되게 된다. 반대로 주기가 결정되어 있다면, 상하판 전극수의 차이에 따라 측정가능 범위(stroke)가 정해진다. 이동판의 전극수를 N_m , 고정판의 전극수를 N_f 라고 하면 측정 가능 범위는 식(2)와 같이 주어진다. (p 는 주기)

$$\text{Stroke} = |N_m - N_f| * p \quad (2)$$

마지막은 전극두께이다. 전극두께는 매크로 모델이 대상일 경우에는 크게 고려하지 않는 편이지만, 마이크로 머시닝을 이용하여 제작할 경우에는 공정 내용과 맞물리게 되므로 고려 대상이 된다. 전극두께 변화에 따른 민감도 변화는 과 같다.

그래프에서 두께가 얇아질수록 민감도가 소폭 향상되는 경향을 볼 수 있다. 전극폭의 0.2배 이하일 경우에는 두께가 0.1 작아지면 민감도가 약 10% 상승하고, 두께가 전극폭의 0.2배 이상일 때는 0.1 작아질 때 약 1%의 민감도가 상승한다. 즉, 민감도를 높이려면 전극두께는 얇으면 얇을수록 좋으며, 최소한 전극폭의 0.2배 보다는 작게 만드는 것이 좋다. 반대로 전극폭의 0.2배 보다 전극두께를 얇게 하기 어려운 경우라면, 두

Fig. 7. A result of thickness variation.

께가 민감도에 주는 영향은 거의 없다. 전극두께가 100배 차이더라도 민감도는 약 20 % 밖에 차이가 나지 않으므로, 전반적으로 두께의 조절은 민감도향상에 많은 기여를 하지는 않는다고 볼 수 있다.

마지막은 전극길이이다. (본 논문에서 전극길이는 한 전극의 y방향 크기를 의미하며, ‘길이’는 항상 이 의미로 사용되었다.) 면적변화형 정전용량 센서에서는 고정판과 이동판의 전극 중 어느 한 쪽의 길이가 반드시 길어야 하는데, 이는 y방향의 병렬 및 진동 오차를 현저히 줄여준다. 따라서 두 평판 중 길이가 긴 판의 전극은 허용하는 한 크게 정하는 것이 좋다. 이 때, 정전용량은 길이가 짧은 판에 의해 결정되는데, 은 전극길이를 하나는 10으로 두고, 다른 판은 1에서 10까지 변화시켜가면서 정전용량의 변화 경향을 확인해 본 것이다.

결과를 보면 정전용량의 최대값, 최소값, 변화량이 모두 길이에 선형 비례한다. 즉, 민감도의 척도로 본다면 전극 길이는 길수록 좋다.

그러나 전극 길이가 짧은 판의 경우는 길이가 민감도와 회전 오차에 대한 강인성등과 직접적으로 관계되므로 결정을 위한 기준이 필요하다. 다음 결과는 간극 0.1, 전극두께 0.1, 고정판 3개, 이동판 1개로 이동판을 0도~10도까지 1도씩 회전시켜가며 해석한 결과이다. 초기상태는 상하판의 전극이 최대겹침 상태이며, 전극 길이와 전극폭을 바꾸어가며 해석하였다. 는 전극 길이와 전극폭의 비를 10으로 고정하여 전극폭 0.5, 1, 2에 대하여 해석한 것이고, 은 전극길이를 20으로 일정하게 두고 전극폭 0.5, 1, 2에 대하여 해석한 것이다.

결과를 보면, 공통적으로 회전이 1도 이내로 작을 때, 정전용량의 감소 정도가 더 작고, 1도보다 회전이 커지면, 정전용량이 거의 선형적으로 감소한다. 또, 정전용량의 감소 경향이 회전각도에 따른 것이 아니라 전극폭과 길이의 비에 따라 다른 것을 알 수 있다. 두개의

Fig. 8. Capacitance variation by the variation of electrode length.

Fig. 9. Maximum capacitance variation by yawing when the sensor has constant ratio of the width to the length.

Fig. 10. Maximum capacitance variation by yawing when the sensor has constant length.

겹쳐진 사각형 판이 회전할 때, 작은 회전각에서 겹쳐지는 면적만을 근사로 계산해보면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\frac{A}{A_0} = \frac{lw - \frac{l^2}{4} \tan \theta}{lw} = 1 - \frac{l}{4w} \tan \theta \quad (3)$$

식에서도 이러한 경향을 볼 수 있다. 다만, 모서리효과 때문에 식(3)보다 회전에 의한 오차가 훨씬 적게 나타나며, 길이와 폭의 비가 일정해도, 크기에 의해 차이를 보이는 것이다. 변곡이 발생하는 것은 현재 겹쳐진 전극 이외에 다음 주기에 위치한 전극의 영향을 많이 받게 되기 때문이다.

전체 해석은, 전극길이 5, 10, 20, 전극폭 0.5, 1, 2의 9가지 경우에 대해서 해석하였고, 이를 전극길이가 일정할 때, 전극폭이 일정할 때, 길이와 폭의 비가 일정할 때로 나누어 분석하였다(Fig. 11). 마찬가지로 민감

각도W폭	길이가 5인경우				길이가 10인경우				길이가 20인경우		
	0.5	1	2		0.5	1	2		0.5	1	2
0	3.70E-10	5.98E-10	1.06E-09		7.25E-10	1.17E-09	2.06E-09		1.43E-09	2.30E-09	4.08E-09
1	3.69E-10	5.97E-10	1.06E-09		7.18E-10	1.16E-09	2.05E-09		1.39E-09	2.25E-09	4.02E-09
2	3.66E-10	5.94E-10	1.05E-09		7.02E-10	1.14E-09	2.04E-09		1.31E-09	2.15E-09	3.92E-09
3	3.63E-10	5.90E-10	1.05E-09		6.83E-10	1.12E-09	2.01E-09		1.24E-09	2.04E-09	3.80E-09
4	3.59E-10	5.85E-10	1.04E-09		6.63E-10	1.10E-09	1.98E-09		1.22E-09	1.92E-09	3.67E-09
5	3.54E-10	5.80E-10	1.04E-09		6.45E-10	1.07E-09	1.96E-09		1.23E-09	1.82E-09	3.53E-09
6	3.49E-10	5.75E-10	1.03E-09		6.30E-10	1.04E-09	1.93E-09		1.25E-09	1.72E-09	3.40E-09
7	3.44E-10	5.68E-10	1.02E-09		6.20E-10	1.01E-09	1.89E-09		1.25E-09	1.66E-09	3.26E-09
8	3.39E-10	5.62E-10	1.02E-09		6.17E-10	9.82E-10	1.86E-09		1.22E-09	1.64E-09	3.13E-09
9	3.34E-10	5.55E-10	1.01E-09		6.17E-10	9.54E-10	1.83E-09		1.16E-09	1.65E-09	2.99E-09
10	3.30E-10	5.49E-10	1.00E-09		6.22E-10	9.20E-10	1.80E-09		1.09E-09	1.68E-09	2.86E-09

Fig. 11. Data of total rotational analysis.

도의 감소폭이 1도 이내의 회전에서 작게 나타났으며, 1도 이내 에서도 각도가 작아질수록 비선형적으로 작게 나타났다. 좀 더 각도를 세분화한 정밀한 해석에 의하면 길이에 따라 차이는 있지만, 0.7도의 회전에 약 1/1000, 0.01도의 회전에 약 1/10000정도의 오차가 발생한다. 이 결과는 차후 구동조건과도 관계있는데, 센서의 SNR 60 dB 이상 유지하려면 회전오차에 한해서는, 구동시 회전발생을 약 0.7도, 80 dB 이상 유지하려면 약 0.01도 이하로 제한할 수 있어야 함을 의미한다.

4. 결 론

본 연구에서는 고해상도 대변위 측정을 위한 면적변화형 정전용량 센서의 민감도 최적화를 위한 설계 가이드를 제시하였다. 민감도를 최적화 한다는 것은 센서의 목적이나 용도에 따라 차이가 있겠지만, 민감도를 최대한 높일 수 있는 방향에 국한시키면 다음과 같이 정리할 수 있다.

센서의 크기가 정해져 있다면, 센서의 간극은 작으면 작을수록 좋고, 특히 전극폭의 0.2배 이하로 줄여야 높은 민감도를 얻을 수 있다. 전극은 단일 전극보다 다수의 전극이 주기적으로 배열되어 있는 것이 좋으며, 배열은 회전되어 있지 않는 것이 좋다. 전극의 폭은 전극 주기의 0.35배~0.5배, 간극의 5배 근처에서 가장 높은 민감도를 가진다. 전극의 크기가 작은 경우 전극의 두께는 얇을수록 좋으나, 다소 변화가 있더라도 민감도에 큰 영향을 주지 않는다. 전극의 길이는 고정판과 이동판 중 한 쪽은 가능한 길게 하고, 다른 한쪽은 이보다 짧은 쪽에 만들어야 하며, 짧은 쪽의 전극 길이에 비해 하여 민감도가 높아진다.

또한 최대 민감도를 얻고자 하는 경우에 국한하지 않더라도, 본 연구결과를 통해 면적변화형 정전용량센

서를 원하는 요구사항에 맞춰서 설계할 때, 직접 분석해야 하는 부분을 최소화 하고, 일정한 프로세스에 따라 설계하는 것이 가능해진다.

그러나 민감도가 높다는 것은 원치 않는 신호에 대한 민감도도 높음을 의미하므로, 이를 뒷받침 해 줄 수 있는 시스템이 필요하므로, 이러한 시스템 기술에 관한 연구가 추가 되어야 할 필요가 있다.

감사의 글

이 논문은 2009년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R0A-2007-000-20042-0)

참고문헌

- [1] "Metrology". wikipedia.
- [2] PI. "Capacitive position sensors - nanometrology solutions". In: Physikinstrumente, editor: Physikinstrumente, 2009.
- [3] Kim JY, Lee, LD, Park KH, Ma SD, and Yang DJ, "Precision in situ measurement using non-contacting capacitive sensor with 4-electrodes", *J. the Kor. Soc. of Precision Engineering*, vol. 19, pp. 33-38, 2002.
- [4] Wolfendale PCF, "Capacitive displacement transducers with high accuracy and resolution", *J. Physics E: Scientific Instruments*, vol. 1, pp. 817-818, 1968.
- [5] ITRS. "International technology roadmap for semiconductors", 2005.
- [6] ITRS. "Advantages and challenges associated with the introduction of 450 mm wafers", *ITRS*, 2005.
- [7] Kim M and Moon W, "A new linear encoder-like

- capacitive displacement sensor”, *Measurement*, vol. 39, pp. 481-489, 2006.
- [8] Zhu F and J.W.Spronck, “A simple capacitive displacement sensor”, *Sensors and Actuators A*, vol. 25-27, pp. 265-269, 1991.
- [9] Hirasawa M, Nakamura M, and Kanno M, “Optimum from of capacitive transducer for displacement measurement”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. IM-33, pp. 276-280, 1984.
- [10] A.A. Arkadan, S. Subramaniam, Sivanesan, and O. Douedari, “Design optimization of a capacitive transducer for displacement measurement”, *IEEE Transactions on magnetics*, vol. 35, pp. 1869-1872, 1999.
- [11] Heerens WC, “Application of capacitance techniques in sensor design”, *J. Physics E: Scientific Instruments*, vol. 19, pp. 897-906, 1986.
- [12] KLAASSEN KB and PEPPEN JCLV, “Linear capacitive microdisplacement transduction using phase read-out”, *Sensors and Actuators*, vol. 3, pp. 209-220, 1982/83.
- [13] Kim M and Moon W, “A new capacitive displacement sensor for high accuracy and long range”, *J. Kor. Sensors Soc.*, vol. 14, pp. pp.219-224, 2005.
- [14] Xiang Y, “The electrostatic capacitance of an inclined plate capacitor”, *J. Electrostatics*, vol. 64, pp. 29-34, 2006.
- [15] Homentcovschi D, “Electrostatic field of a system of aligned electrodes”, *J. Electrostatics*, vol. 26, pp. 187-200, 1991.
- [16] Kim M, Moon W, Yoon E, and Lee K-R, “A new capacitive displacement sensor with high accuracy and long-range”, *Sensors and Actuators A*, vol. 103-131, pp. 135-141, 2006.

강 대 실

- 2005년 부산대학교 기계공학과(공학사)
- 2007년 POSTECH 기계공학과(공학석사)
- 현재 POSTECH 기계공학과 박사과정 재학
- 주관심분야: 변위센서, 정전용량센서

김 무 진

- 1998년 부산대학교 기계공학과(공학사)
- 2000년 부산대학교 기계공학과(공학석사)
- 2005년 POSTECH 기계공학과(공학박사)
- 2005년~현재 삼성전자
- 주관심분야: 정전용량 센서, 반도체공정 모니터링 및 측정기술

문 원 규

- 1984년 서울대학교 기계공학과(공학사)
- 1986년 KAIST 기계공학과(공학석사)
- 1995년 The University of Texas at Austin 기계공학과(공학박사)
- 1986년~1990년 한국원자력 연구소
- 1996년~1998년 삼성중합기술원
- 1998년~2004년 POSTECH 조교수
- 2004년~현재 POSTECH 부교수
- 주관심분야: 전자기, 음향, 진동 트랜스 듀서, 초정밀 시스템