

# 실리콘 압력 센서의 디지털 보정 회로의 설계

## Design of Digital Calibration Circuit of Silicon Pressure Sensors

金奎喆\*

Kyu-Chull Kim\*

### 요 약

디지털 보정 기능을 갖는 CMOS 압력 센서의 인터페이스 회로를 설계하였다. 인터페이스 회로는 아날로그 부분과 디지털 부분으로 구성되어 있다. 아날로그 부분은 센서로부터 발생한 약한 신호를 증폭시키는 역할을 담당하고 디지털 부분은 온도 보상 및 오프셋 보정 기능을 담당하며 센서 칩과 보정을 조정하는 마이크로컨트롤러와의 통신을 담당한다. 디지털 부분은 I2C 직렬 인터페이스, 메모리, 트리밍 레지스터 및 제어기로 구성된다. I2C 직렬 인터페이스는 IO 핀 수 및 실리콘 면적 면에서 실리콘 마이크로 센서의 요구에 맞게 최적화 되었다. 이 설계의 주요 부분은 최적화된 I2C 프로토콜을 구현하는 제어 회로를 설계하는 것이다. 설계된 칩은 IDEC의 MPW를 통하여 제작되었다. 칩의 테스트를 위하여 테스트 보드를 제작하였으며 테스트 결과 예상한대로 디지털 보정 기능이 잘 수행됨을 확인하였다.

### Abstract

We designed a silicon pressure sensor interface circuit with digital calibration capability. The interface circuit is composed of an analog section and a digital section. The analog section amplifies the weak signal from the sensor and the digital section handles the calibration function and communication function between the chip and outside microcontroller that controls the calibration. The digital section is composed of I2C serial interface, memory, trimming register and controller. The I2C serial interface is optimized to suit the need of on-chip silicon microsensor in terms of number of IO pins and silicon area. The major part of the design is to build a controller circuit that implements the optimized I2C protocol. The designed chip was fabricated through IDEC's MPW. We also made a test board and the test result showed that the chip performs the digital calibration function very well as expected.

**Key words :** microsensor, digital calibration, serial interface, I2C protocol

## 1. 서론

\* 檀國大學校 電氣電子컴퓨터工學部

(Dept. of. EE&Computer, Dankook Univ.)

※본 연구는 2003학년도 단국대학교 연구비 지원과 IDEC의 CAD Tool 지원에 의해 수행되었음

接受日:2003年 8月 20日, 修正完了日:2003年 11月 28日

압력센서는 자동차, 우주항공, 환경, 군수산업 등 산업 전반에 걸쳐 다양하게 사용되고 있다. 이러한 응용분야에서는 정밀도가 높고 대량생산이 가능하며 저렴한 가격의 센서가 요구된다[1]. 최근 마이크로머시닝 기술과 반도체 집적 기술의 발전으로 이러한 요구

에 부응하는 실리콘 마이크로 압력 센서의 생산이 가

능해졌다. 마이크로머시닝 기술을 사용한 실리콘 마이크로 압력 센서는 단일칩 혹은 멀티칩으로 제작된다. 단일칩 마이크로 압력 센서는 압력센서와 신호처리회로가 동일한 칩 상에 구현되어 한 패키지에 장착된 것이고, 멀티칩 센서는 센서와 신호처리회로가 별도의 칩에 제작되어 한 패키지 내에 장착된 것이다. 센서의 최종 출력을 내는 신호처리 회로는 오프셋보상, 이득조정, 온도보상 및 비선형 보정 등의 기능을 수행하므로 센서의 성능은 이 신호처리 회로에 의해 결정된다고 할 수 있다. 이에 따라 마이크로 압력센서와 더불어 한 패키지 내에 집적된 신호처리회로의 성능개선을 위한 연구가 많이 진행되고 있다[2-4]. 이렇게 한 패키지 내에 집적된 마이크로센서는 기존의 매크로센서에 비하여 센서의 작은 신호를 증폭하고 주변 환경으로부터의 잡음이나 간섭의 영향을 줄이는 데에 있어 아주 효과적이다[5,6]. 이러한 장점 때문에 실리콘 마이크로센서는 점점 적용범위를 넓혀가고 있으며 최근 실리콘 센서 시장의 75% 이상을 점유하고 있다[7].

마이크로센서에 현재 적용되고 있는 온도 보상 및 오프셋 보정 방식은 레이저 보정(laser trimming), 메탈 퓨징(metal fusing), 다이오드 퓨징(diode fusing) 등의 방법이 사용되고 있는데 이러한 방식은 보정 공정 비용이 높고 수율이 낮으며 결정적으로 최종 패키지의 영향을 고려하기 어려운 단점을 가지고 있다[8]. 이러한 문제를 극복하기 위하여 최근에는 메모리를 이용한 디지털 보정과 온도 보상에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 그러나 메모리를 이용한 룩업 테이블(look-up table) 방식은 과도한 메모리 용량이 요구되는 단점이 있다.

아날로그 보정은 외부 스위치나 저항을 사용하는데 실리콘 면적을 적게 차지하고 간단하게 보정을 수행할 수 있지만 미세한 보정이나 지능적인 보정에는 취약하다. 따라서 아날로그 보정보다 디지털 보정 기능을 많이 사용하게 되는데, 본 연구에서 사용하는 디지털 보정은 센서에 대한 보정 데이터를 외부 컨트롤러로부터 입력받아 보정용 트리밍 레지스터에 저장하는 방식으로 보정을 수행한다. 이 방식은 보정 데이터를 쉽게 변경시킬 수 있어 지능적인 보정이 가능하다. 그리고 기존의 디지털 보정은 전원을 껐다가 다시 넣을 때마다 외부 제어기를 사용하여 보정 데이터를 다시 공급해주어야 하는 문제가 있는데 본 연구에서는 외부 제어기가 보낸 보정 데이터를 트리밍 레지스터에 적재하고 동시에 비휘발성 메모리에도 저장하여, 전원을 껐다가 다시 켤 때 비휘발성 메모리에 저장된 보

정 데이터가 자동으로 트리밍 레지스터에 적재되도록 설계하여 이러한 문제를 해결하였다. 따라서 전원을 켤 때마다 센서칩 외부에서 보정 데이터를 적재할 필요가 없게 된다.

마이크로 압력 센서에 디지털 보정기능을 구현하려면 칩 면적, 입출력 핀 수 등을 최소화 하여야 하고 외부 제어기와 데이터 통신 프로토콜의 범용성이 요구된다. 외부 제어기와 데이터 통신으로 크게 병렬 통신과 직렬 통신 두 방식을 생각할 수 있다. 이중 병렬 통신은 통신 속도가 빠르기는 하지만 입출력 핀 수가 많이 필요하므로 병렬통신 대신 직렬통신 방식을 택하였다. 그리고 통신 프로토콜의 범용성을 위해 UART 방식과 I2C 방식중 I2C 방식을 사용하여 통신 포트를 설계하였다. UART 방식은 I2C 방식보다 구현면적이 큰 단점을 가지고 있다. 필립스사에서 개발된 I2C는 IC 간의 통신에 사용할 수 있게 개발된 것으로 일부 회로를 변경하여 마이크로 압력 센서에 적합하도록 최적화 시켜 인터페이스 회로에 포함시켰다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. I절에서는 마이크로 압력 센서의 개요 및 연구 내용을 설명하였고 II절에서는 마이크로 압력 센서 인터페이스 회로의 설계에 대하여 설명하였다. 그리고 III절에서는 디지털 부분의 핵심 회로인 제어회로의 설계를 설명하고 IV절에서는 설계된 회로에 대한 동작을 검증 및 실험에 대한 설명을 하였다. 그리고 V절에서는 결론으로서 연구 결과에 대한 고찰을 수록하였다.

## II. 마이크로 압력 센서 인터페이스의 설계

### 2.1 마이크로 압력 센서의 구조

그림 1은 실리콘 마이크로 압력 센서 회로의 구성도를 보이고 있다. 센서회로는 크게 센서와 신호처리회로로 구분되며 신호처리회로는 다시 아날로그 부분과 디지털 부분으로 구분된다. 외부 압력이 센서로 전달되면 센서는 미세한 신호를 생성한다. 센서에서 생성된 신호는 신호처리 회로의 아날로그 부분으로 보내진다. 신호처리 회로의 아날로그 부분은 증폭기와 트리밍 비트 및 ADC로 구성되어 있다. 증폭기는 센서로부터 들어온 약한 신호를 증폭하고 트리밍 비트는 센서의 출력을 보정하는 데에 사용된다. 일반적으로 아날로그 부분에 있는 트리밍 비트의 값은 외부에

서 스위치나 저항을 직접 연결하여 입력시키는 방법을 사용한다. 그러나 이 방법은 많은 입출력 핀이 필요하고 수동으로 값을 조정하여야 하므로 사용하기 어렵고 지능적인 보정이 어려운 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 트리밍 레지스터를 사용하여 트리밍 비트를 제어하는 방식으로 보정을 수정한다. 신호처리 회로의 디지털 부분이 외부 제어기가 보내는 보정 데이터를 읽어 트리밍 레지스터에 저장하고 트리밍 레지스터의 값을 비휘발성인 EEPROM에 저장하는 일을 담당한다. 즉, 디지털 부분은 외부 제어기 또는 PC와의 통신을 담당한다. 그리고 아날로그 부분의 ADC는 센서가 검출한 압력을 디지털로 변환 시켜 외부로 출력하는 일을 담당한다. 외부 제어기는 보정 데이터를 신호처리 회로에 보내어 보정을 수행한다. 외부제어기는 트리밍 레지스터의 값을 읽어서 디스플레이에 표시할 수도 있다.



그림 1. 실리콘 마이크로 압력 센서의 구성도  
Fig. 1. Structure of silicon microsensor

2.2 보정을 위한 통신 프로토콜

디지털 보정 방식으로 트리밍 비트를 외부에서 저항이나 스위치를 직접 연결하는 방식은 입출력 핀의 수가 많고 수동으로 보정을 수행해야 하는 단점이 있다고 하였다. 본 연구에서는 외부 스위치나 저항에 의한 보정 방법의 단점을 해결하기 위해 통신에 의한 보정 방법을 제안하였다. 통신 방식에는 병렬통신과 직렬통신 두 가지 방식이 있다. 병렬 통신은 속도가 빠르고 연결이 간단하지만 연결 포트가 많이 필요하다는 단점이 있다. 직렬 통신은 데이터를 직렬로 1비트씩 보내는 방식이다. 입출력 포트의 수가 줄어드는 장점이 있지만 속도가 느리고 데이터를 주고 받는 프로토콜이 복잡하다. 본 연구에서 목표로 하는 센서는 빠른 속도가 요구되지 않고 데이터의 크기(48비트)가 작고 칩의 크기가 작아야 하므로 패키지의 외부 입출력 핀 수를 줄이기 위하여 직렬 통신을 사용하기로

하였다. 외부 제어기가 직렬 통신포트를 통하여 보정 데이터를 보내면 이 데이터는 아날로그 부분의 트리밍 비트에 연결되어 있는 트리밍 레지스터에 적재시키는 방법으로 보정을 수행한다. 그리고 통신 프로토콜의 범용성을 위해 UART와 I2C 프로토콜 중에서 I2C 프로토콜을 선택하였다. UART 방식은 I2C보다 실리콘 사용 면적이 크고 입출력 핀 수가 증가하는 단점을 가지고 있다. 반면에 IC 간의 통신을 위해 필립스사에 의해 개발된 I2C 통신 프로토콜은 일부 회로를 변경시켜 최적화할 경우 마이크로센서에 적합한 통신회로가 될 것이다. I2C 통신회로는 두 개의 데이터 입출력 핀과 하나의 제어 핀을 사용한다. 입출력 핀 수와 제어 핀 수가 적기 때문에 칩 면적이 줄어들고 많은 양의 데이터를 쉽게 주고받을 수 있다.



그림 2. I2C 통신 프로토콜의 타이밍도  
Fig. 2. Timing diagram of I2C communication protocol

그림 2는 I2C 직렬통신 프로토콜의 타이밍도를 보이고 있다. I2C는 SDA 포트와 SCL 포트를 가지고 있다. SDA 포트는 데이터용이고 SCL 포트는 클락용이다. 클락 신호는 외부 제어기에서 공급되며 이 클락 신호에 맞추어 SDA에 데이터를 전송한다. 그림에서 SCL이 '1'인 동안 SDA의 값이 1에서 0으로 변하면 직렬통신의 시작(start bit)으로 간주되며 SCL의 다음 클락에서부터 입력 데이터를 받아들인다. 데이터는 1클락당 1비트씩 전송되며 48비트의 데이터를 한꺼번에 받을 수도 있고 8비트씩 나누어 6번에 걸쳐 받을 수도 있다. 본 설계에서는 8비트씩 나누어 받도록 설계하였다. 8비트의 데이터 전송 사이에는 2클락의 idle bit를 두어 데이터를 구분한다. SCL이 '1'인 동안 SDA의 값이 0에서 1로 변하면 전송이 종료(stop bit) 되는 것으로 간주한다. 본 연구의 대상인 센서 칩처럼 주고 받는 데이터의 양이 고정되어 있는 경우에는 전송된 데이터의 양을 확인하여 양단에서 자동으로 멈추게 되므로 정지 신호로 사용하지 않아도 된다. SCL이 '1'인 동안 유지되는 SDA의 값이 전송하고자하는 1비트의 유효 값이다. SCL이 '0'인 동안의 SDA의 값은 무시된다. SDA는 데이터를 주고받아야 하므로 양

방향 포트가 구성하여야 한다. SCL 신호는 외부 제어기가 공급하므로 센서의 입력이 된다.

**2.3 마이크로 압력 센서의 동작 모드**

센서 회로는 두 개의 동작 모드 즉, 정상모드와 테스트모드를 가지고 있다. 전원이 들어오면 기본모드인 정상모드에 들어간다. 전원이 들어오면 EEPROM에 저장된 보정 데이터가 자동적으로 트리밍 비트에 연결된 트리밍 레지스터에 적재되어 보정이 되고 정상모드가 시작된다.

테스트모드에서는 직렬 포트를 통하여 보정 데이터를 트리밍 레지스터에 쓰고 읽고 할 수 있다. 테스트모드의 입출력은 외부 제어기에 의하여 결정된다. 즉 write 신호를 외부 제어기가 센서회로에 내보내면 쓰기 동작이 직렬 방식으로 이루어져 SDA로 공급된 48비트의 보정 데이터가 트리밍 레지스터에 적재되고, read 신호를 내보내면 읽기 동작이 수행되어 트리밍 레지스터의 내용이 SDA를 통하여 나오게 된다. 48비트의 데이터는 8비트씩 6번에 나누어 전송이 수행된다.

**2.4 디지털 부분의 구조**

그림 3은 디지털 부분의 블록 다이어그램을 보이고 있다. 센서 회로의 디지털 부분은 회로의 동작모드를 선택하고 테스트모드에서는 외부 제어기와 보정 데이터의 통신을 담당한다. 디지털 부분은 트리밍 레지스터, EEPROM, 8비트 입력 쉬프트레지스터, 8비트 출력 쉬프트레지스터, 쉬프트레지스터 카운터, 주소 카운터 및 제어장치로 구성된다.

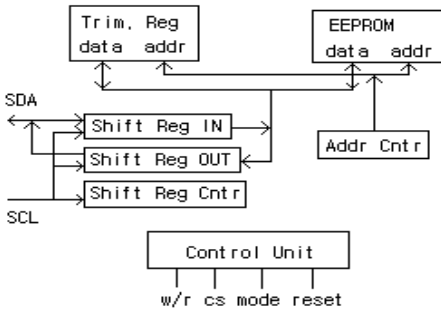


그림 3. 디지털 부분의 블록다이어그램  
Fig. 3. Block diagram of digital part

센서의 동작모드를 테스트모드에서 정상모드로 전

환하면 트리밍 레지스터의 내용이 EEPROM에 저장된다. 이렇게 하여 보정이 완료된 정상 모드를 시작할 수 있다. 그리고 전원을 켜면 EEPROM에 저장된 보정 데이터는 자동적으로 트리밍 레지스터에 적재되어 정상 모드가 시작된다. 따라서 전원이 인가될 때마다 외부 제어기가 보정 데이터를 다시 공급할 필요가 없다. 전원이 꺼져도 보정 데이터가 EEPROM에 저장되어 있으므로 지워지지 않는다. 트리밍 레지스터의 출력은 아날로그 부분의 트리밍 비트에 직접 연결되어 있어 보정 데이터가 적재되는 순간 트리밍 비트 값이 결정되어 보정이 이루어진다.

입력 쉬프트레지스터(Shift Reg IN)와 출력 쉬프트레지스터(Shift Reg OUT)는 직렬 데이터 통신에 사용된다. 두 쉬프트 레지스터의 크기는 각각 8비트이다. 쓰기 동작에서는 직렬 데이터가 입력 쉬프트레지스터에 한 비트씩 쉬프트 입력된다. 8비트가 모두 입력되면 이 레지스터의 내용은 트리밍 레지스터로 이동하게 된다. 트리밍 레지스터의 크기는 48비트이므로 6번의 데이터 전송이 필요하다. 읽기 동작에서는 트리밍 레지스터로부터 8비트의 데이터가 출력 쉬프트레지스터에 병렬 적재된 다음, 이 데이터가 한 비트씩 직렬로 출력된다. 그림 4는 입력 쉬프트레지스터의 시뮬레이션 결과를 보이고 있다. 그림으로부터 직렬 데이터 10110011이 한 비트씩 입력 쉬프트레지스터에 공급되었고 최종적으로 이에 해당하는 179가 쉬프트 레지스터에 적재되었음을 확인할 수 있다. 주소 카운터는 트리밍 레지스터와 EEPROM에 연결되어 있다. 주소 카운터는 데이터 입출력에 대한 메모리 주소를 지정한 다.

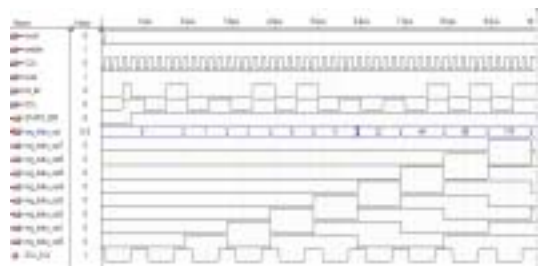


그림 4. 입력 쉬프트 레지스터의 시뮬레이션  
Fig. 4. Simulation result of Shift Register IN

**III. 제어장치의 설계**

제어장치는 각 모듈의 상태를 조사하여 센서의 동작에 필요한 제어신호를 생성한다. 센서의 상태를 크게 4 가지 상태 즉, 전원 인가시 정상상태, 쓰기 테스트 모드 상태, 읽기 테스트 모드 상태, 모드 변환 상태로 나누었다. 각 상태는 서너개의 서브상태로 구성되어 있다.

그림 5, 6, 7, 8은 제어장치의 네 가지 상태에 대한 상태도를 보이고 있다. 그림 5에 보인 것처럼 센서에 전원이 인가되면 센서는 정상 모드로 들어간다. 전원이 인가되면 먼저 EEPROM에 저장된 보정 데이터가 트리밍 레지스터에 전달된다. done\_address\_counter = 0이면 주소 카운터는 하나씩 증가되고, 다음 8비트 데이터가 EEPROM으로부터 읽혀서 트리밍 레지스터로 전달된다. 이 과정이 6번 반복되어 48비트가 모두 전달되면 done\_address\_counter는 1이 되고 비로소 정상동작이 시작된다.

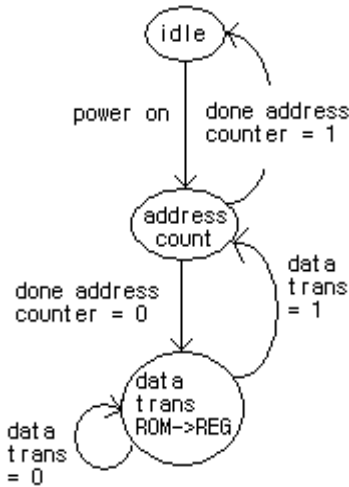


그림 5. 전원 인가후의 정상 상태  
Fig. 5. Normal mode at power ON

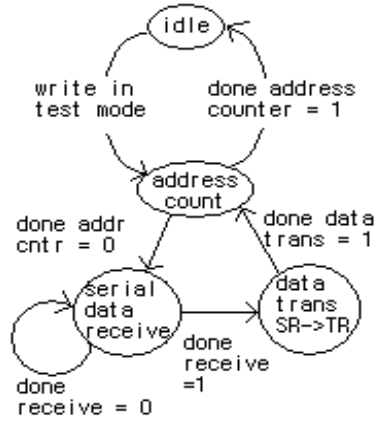


그림 6. 쓰기 테스트 모드 상태  
Fig. 6. Write test mode

그림 6은 쓰기 테스트 모드에 대한 상태도를 보이고 있다. 쓰기 테스트 모드에서는 외부 제어기가 직렬 포트를 통하여 보정 데이터를 트리밍 레지스터로 전송한다. 8비트의 데이터가 입력 쉬프트 레지스터에 입력되면 done\_data\_transfer가 1이 되고 입력 쉬프트 레지스터의 내용이 트리밍 레지스터에 순서에 따라 자신의 위치로 이동한다. 트리밍 레지스터에 적재될 위치는 address\_counter가 가리킨다. 이 과정을 6번 반복하면 보정 데이터의 쓰기 작업이 완료되며 센서 회로는 idle 상태로 들어간다.

그림 7은 읽기 테스트 모드에 대한 상태도를 보이고 있다. 읽기 테스트 모드에서는 트리밍 레지스터의 내용이 출력 쉬프트 레지스터에 8비트 단위로 전달되어 SDA를 통하여 한 비트씩 외부로 출력된다. 8비트의 전송이 완료될 때마다 done\_serial\_transfer는 1이 된다. 이 과정을 6번 반복하여 트리밍 레지스터의 내용이 모두 출력되면 센서회로는 idle 상태로 들어간다.

그림 8은 센서가 테스트 모드에서 정상 모드로 동작 상태를 변화시키는 동작을 설명하고 있다. 센서의 동작 모드가 테스트 모드에서 정상모드로 전환되면 트리밍 레지스터의 내용이 EEPROM에 저장된다. 8비트 데이터를 6번 전달한 다음 done\_address\_counter는 1이 되고 센서회로는 idle 상태로 들어가서 다음 입력을 기다린다.

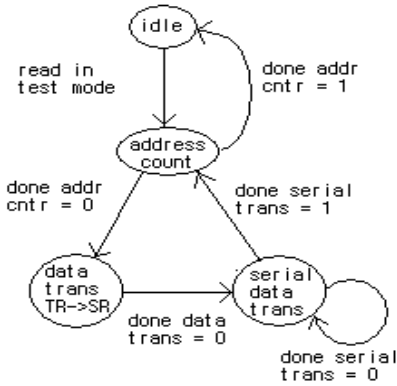


그림 7. 읽기 테스트 모드  
Fig. 7. Read test mode

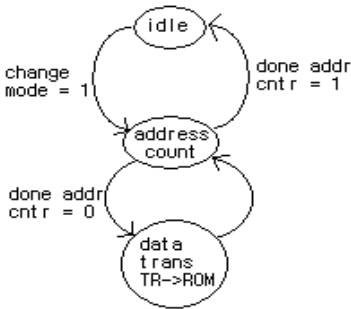


그림 8. 모드 전환 상태  
Fig. 8. Mode change state

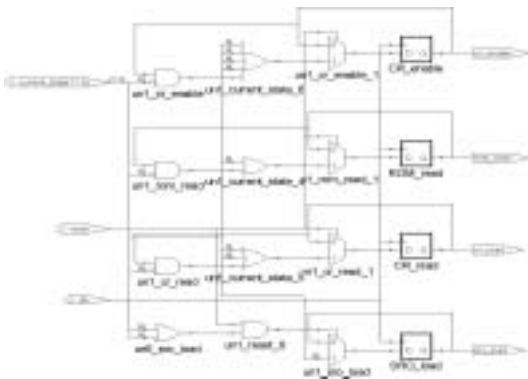


그림 9. VHDL 코드로부터 합성된 회로도 일부  
Fig. 9. Part of circuit synthesized from VHDL code

제어장치의 4 서브 모듈은 VHDL을 사용하여 FSM으로 구현되었으며 그림 9는 이 중 쓰기 테스트 모드에 대한 서브 모듈의 게이트 레벨 합성 결과를 보이고 있다. 다른 모듈에 대하여 합성된 회로도는 지면 관계상 생략하였다.

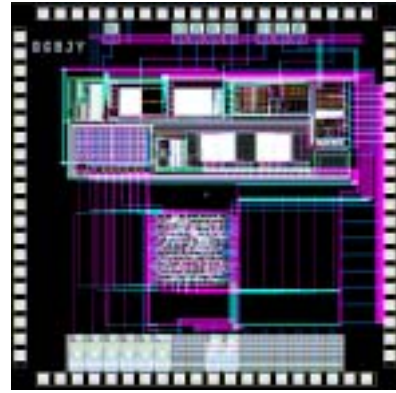


그림 10. 센서회로 디지털부의 레이아웃  
Fig. 10. Layout diagram of digital part

그림 10은 디지털부의 레이아웃을 보이고 있다. 이 회로는 IDEC 표준 셀 라이브러리를 사용하여 VHDL 코드로부터 합성되었다. 합성에는 Synopsis 툴을 사용하였다. 합성 결과는 EDIF 형식으로 출력되었으며 Mentor사의 IC Station에 입력시켜 레이아웃을 얻었다. 합성된 레이아웃은 현대 0.6um 공정의 1mm x 1mm 다이 크기에 충분하였으며 IDEC MPW를 통하여 칩으로 제작되었다.

#### IV. 실험 결과

제작된 칩을 테스트하기 위해 테스트 보드를 제작하였다. 그림 11은 제작된 테스트 보드를 보이고 있다. 테스트 보드의 상측 중앙에 위치한 칩이 IDEC MPW로 제작된 칩이다. 압력 센서는 동일칩에 구현되지 않았으므로 압력 센서를 테스트 보드에 장착하여 센서회로에 연결하였다. 테스트 보드의 다른 칩들은 8051 마이크로컨트롤러와 주변회로이다. 8051 마이크로컨트롤러를 사용하여 디지털 보정을 수행할 수 있다. 8051 마이크로컨트롤러 대신 외부 제어기로 PC를 사용할 수도 있다.



그림 11. 테스트 보드  
Fig. 11. Test Board

그림 12는 PC를 외부 제어기로 사용하여 보정을 수행하는 사용자 인터페이스 화면을 보이고 있다. 보정을 수행하는 PC의 프로그램은 VISUAL BASIC V6.0으로 작성하였으며 윈도우 95, 98 및 ME에서 동작한다. 사용자 인터페이스 화면을 보면 여러 보정 데이터를 십진 값으로 입력하게 되어 있는데 입력이 완료되면 이 값들은 48비트의 이진 값으로 변환되어 8비트씩 여섯 번에 나누어 트리밍 레지스터로 전송된다.



그림 12. 윈도우용 보정 데이터 전송 프로그램  
Fig. 12. Calibration data transfer program

실험의 주 목적은 센서 회로의 디지털 부분이 지정된 동작을 잘 수행하는지 확인하는 데에 있다. 센서의 동작 모드를 테스트 모드로 선택하여 센서의 트리밍 레지스터에 보정 데이터를 쓰고, 또 트리밍 레지스터의 데이터를 읽을 수 있었다. 다음은 센서 회로의 동작 모드를 테스트 모드에서 정상 모드로 바꾸었다. 이때 트리밍 레지스터의 내용이 자동적으로 EEPROM에 저장 되어야 한다. 이는 센서 회로의 전원을 껐다가 다시 켜 다음 테스트 모드에서 트리밍 레지스터의 내용을 읽는 방법으로 확인하였다. 이 실험으로 센서에 사용된 I2C 통신 프로토콜이 정확하게 잘 구현되었으며, 마이크로센서의 디지털 보정에 적합함을 확인하였다.

## V. 결론

본 연구에서는 마이크로 압력 센서의 디지털 보정을 수행할 수 있는 인터페이스 회로를 설계하였다. 기존의 마이크로 압력 센서는 센서의 디지털 보정에 외부 스위치나 저항을 사용하여 최종 패키지의 영향을 고려하기가 힘들고 입출력 포트가 많이 필요하여 부피가 크며 전력 소비가 큰 단점을 가지고 있었다. 이 논문에서는 디지털 보정과 온도 보상을 쉽게 할 수 있는 인터페이스 회로를 설계하였다. 디지털 보정은 외부제어기를 통하여 수행되며 이때 제어기와의 통신에는 입출력 핀 수를 최소화하기 위하여 I2C 직렬통신프로토콜을 사용하였다. 보정 데이터는 아날로그 부분의 트리밍 비트에 연결되어 있는 트리밍 레지스터에 적재된다. 외부 제어기에 의해 한번 보정이 완료되면 보정 데이터는 EEPROM에 저장되며 전원이 켜질 때마다 자동적으로 트리밍 레지스터에 다시 적재되기 때문에 보정 데이터를 매번 외부에서 적재시킬 필요가 없다.

설계된 칩은 MPW 칩으로 제작되었으며 테스트 보드를 제작하여 직렬 포트를 통한 보정 데이터의 입출력이 정확히 잘 수행되고 EEPROM에 저장된 보정 데이터가 전원 인가시 자동 적재됨을 확인하였다. 이 결과 설계된 실리콘 마이크로 압력센서의 인터페이스 회로가 디지털 보정을 잘 수행함을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] M. O. Lee, "Merged technology on MEMS," Proceedings of IEEE Electron Devices Meeting, Hong Kong, 1997, pp.128-135.
- [2] Giuseppe Ferri, P. D. Laurentiis, "A novel low voltage low power oscillator as a capacitive sensor interface for portable applications," Sensors and Actuators, 76(1999), pp.437-441
- [3] J.M. Borkey, K.D. Wise, "Integrated signal conditioning for pressure sensor," IEEE Trans. Electron Devices, ED 26(1979), pp. 1906-1910

- [4] H.J. Kress, F. Bantien, J. Marek, M. Williwann, "Silicon pressure sensor with integrated CMOS signal conditioning circuit and compensation of temperature coefficient," Sensor & Actuators, A 25-27(1991), pp. 21-26.
- [5] K. Wise, "Microelectromechanical Systems: Interfacing Electronics to a Non-Electronic World," IDDD IEDM'96 p. 10, Dec. 1996
- [6] J. H. Huijsing, "Signal Conditioning on the Sensor Chip," Sensors and Actuators, Vol. 10, pp. 219-237, 1986
- [7] K. E. Petersen, "Silicon as a Mechanical Material," Proc. IEEE, Vol 70, pp. 420-457, 1982
- [8] S. Yamashita, K. Shimaoka, H. Funabashi, S. Sugiyama and I. Igarashi, A Fully Integrated Pressure Sensor, Tech. Digest, 8th Sensor Symp., Japan, pp. 13-16, 1989

---

저 자 소 개

---

金奎喆 (正會員)



1978년 서울대학교 자연과학대학  
물리학과 (이학사)  
1980년 서울대학교 대학원  
물리학과 (이학석사)  
1986년 미국 University of  
Wisconsin @ Madison  
(ECE 석사)

1992년 미국 University of  
Wisconsin @ Madison (ECE 박사)

1993년 9월 - 현재: 단국대학교 전기전자컴퓨터  
공학부 부교수

관심분야 : 집적회로 설계, 혼합 모드 회로 설계,  
Design For Testability