

논문 99-8-1-06

8빔 압저항형 가속도센서의 자기진단 기능을 위한 IC칩 제조  
박창현\*, 전찬봉\*, 강희석\*, 김종집\*, 이원태\*, 심준환\*\*, 김동권\*\*\*, 이종현\*\*\*

Fabrication of IC Chip for Self-Diagnostic Function of  
a Eight-Beam Piezoresistive Accelerometer.

Chang-Hyun Park\*, Chan-Bong Jun\*, Hee-Suk Kang\*, Jong-Jib Kim\*,  
Won-Tae Lee\*, Jun-Hwan Sim\*\*, Dong-Kwon Kim\*\*\*, and Jong-Hyun Lee\*\*\*

요약

본 논문에서는 8빔 압저항형 가속도센서에서 하나 이상의 빔이 파손되는 대부분의 경우에 대하여 에러신호를 검출할 수 있는 자기진단회로를 구현하고, 이를 PSPICE를 사용하여 시뮬레이션으로 그 기능을 확인하였다. 또한 현재 상용으로 나오는 KA 324 증폭기의 레이아웃을 사용하여 자기진단회로를 표준 바이폴라(bipolar)공정을 이용하여 IC칩으로 제조하고, 24핀 플라스틱 패키징한 후 자기진단 특성을 조사하였다. 이때, 측정된 회로의 자기진단 특성을 시뮬레이션 결과와 비교하였다.

Abstract

In this paper, we have constructed a self-diagnostic circuit which could detect erroneous signals in most cases that a eight-beam piezoresistive accelerometer were destroyed more than its one beam. To confirm the function of the circuit, PSPICE simulation was carried out. An IC chip was fabricated with a layout of KA 324 amplifier using a bipolar standard processing. After a package of the chip was sealed using a plastic package with 24 pins, the self-diagnostic characteristics were investigated. Then, the measured self-diagnostic characteristics of the circuit were compared with the PSPICE simulated result.

1. 서론

가속도, 진동, 충격 등의 동적 힘을 감지하는 가속도센서는 물체의 운동상태를 순서적으로 감지할 수 있으므로 자동차의 에어백(airbag), 전자식엔진제어시스

템, ABS(anti-lock braking system), 지능형현가(smart suspension)장치 및 조향(steering)시스템 등에 필수적인 소자이며, 그 활용분야는 대단히 넓다. 그 중 실리콘 가속도센서는 실리콘의 기계적 성질이 우수하고<sup>[1,2]</sup>, 실리콘 마이크로머시닝 기술과 반도체 집적회로 공정 기술을 이용하여 소형화, 경량화, 양산화, 저가격화 및 고성능화가 가능하다. 그래서 자동차의 전장 시스템과 로봇과 같은 정밀제어 시스템 등의 응용분야에 사용하기 위하여 활발한 연구가 이루어지고 있다<sup>[3-7]</sup>. 가속도센서를 자동차, 기계설비, 로봇 등의 분야에 사용할 경

\* 삼성전자(주) 반도체 제조본부 (Semiconductor Manufacturing Business, Samsung Electronics Co., LTD.)

\*\* 한국해양대 전자통신공학과 (Dept. of Electronic & Telecom. Eng., Korea Maritime Univ.)

\*\*\* 경북대학교 전자전기공학부 (School of Electronic & Electrical Eng., Kyungpook National Univ.)

<접수일자 : 1998년 5월 30일>

우, 마이크로머시닝으로 제조된 센서의 3차원 미세구조물의 파손으로 인한 에러를 감지할 수 있는 자기진단 기능은 필수적으로 대두된다. 최근에 센서의 신뢰성을 확보하기 위하여 자기진단기능을 가진 압저항 가속도 센서가 보고되고 있다<sup>[8,9]</sup>. 이들 센서의 진단기능은 정전력(electrostatic force) 또는 열적 heating을 통하여 구조물을 구동시켜 센서의 이상유무를 검증하는 것이다. 그러나 정전구동의 경우, 50V 이상의 높은 구동전압과 테스트전극과 관성질량(seismic mass)사이의 간격을 최적화 하여야 하는 문제가 있으며, 열적구동은 펄스 히터전류가 필요하며 추가적인 구동 빔이 필요하기 때문에 제조공정상에 어려움이 있다.

본 논문에서는 기존에 발표된 8빔 압저항형 가속도 센서<sup>[10]</sup>의 자기진단을 위하여 8빔 구조에서 4개의 브리지 응답을 서로 비교하여 8개의 빔 중에서 4개 또는 8개의 빔이 동일한 모양으로 파손되는 경우를 제외하고 빔이 파손되는 경우에 대하여 에러신호를 검출할 수 있는 자기진단회로를 구현하고, 이 회로를 바이폴라(bipolar)공정을 이용하여 IC칩으로 제작한 후, 그 특성을 조사하였다.

## II. 제조공정

자기진단회로의 주요소자는 NPN, PNP TR, 그리고 커패시터로 구성되어 있다. 그림 1은 그 중에서 바이폴라 공정을 이용하여 제조된 NPN TR의 단면구조를 나타낸 것이다. 먼저 5", 결정면이 (111)이고 비저항이 15 Ω·cm인 P형 실리콘 기판에 산화막을 성장시켰다. 매물층을 정의하여 아세닉(As)을  $3.0 \times 10^{15}/\text{cm}^2$  로 이온 주입한 후 1200°C에서 열처리하여 깊이가 약 6 μm인 n<sup>+</sup> 영역(N<sub>d</sub> >  $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ )을 형성하였다. 다음으로 팬케이크형 에피택셜 장비에서 인(P)으로 농도를 조절하여 두께 13 μm, 비저항 3.5 Ω·cm 정도의 저농도 도핑된 N형 에피층을 성장시켰다. 각 소자를 격리시키기 위하여 고농도의 붕소(B)로 확산하였고, NPN TR의 base, PNP TR의 emitter/ collector 및 저항을 형성시키기 위하여 붕소를 이온 주입한 후 고온에서 확산하였다. 다음으로 NPN TR의 emitter/collector, PNP TR의 base를 만들기 위하여 인으로 선확산한 후 고온에서 확산공정과 어닐링 공정을 실시하였다. 그리고 커패시터는 1000Å 두께의 질화막으로 형성하였다. 금속 배선을 연결시키기 위하여 각 확산 영역의 접

합부위의 창을 열고 1%Si-Al을 2 μm 두께로 증착하여 패터닝하였다. 이어서 저항성 접촉(ohmic contact)을 위하여 450°C에서 30분간 알로이(alloy)를 실시하였다. 마지막으로 보호막을 증착하고 웨이퍼를 스크라이빙(scribing)하여 개별소자(die)로 분리한 후 24핀 DIP(dual in-line package)으로 조립하였다.

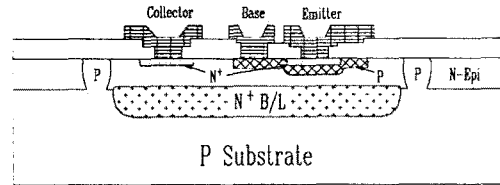


그림 1. 바이폴라 공정으로 제조된 NPN TR의 단면 구조  
Fig. 1. Cross-sectional structure of NPN TR fabricated by bipolar process.

## III. 회로 시뮬레이션

그림 2는 8빔 가속도센서의 신호를 검출하기 위한 브리지 구성을 나타낸 것이다. 그림과 같이 축면방향의 충격에 의하여 하나의 빔에서 (1) 또는 (2)와 같이 빔이 파손되는 경우와 두 개의 빔에서 (1), (3)으로 부서지는 경우와 같이 다양하게 빔의 파손이 일어 날 수 있다

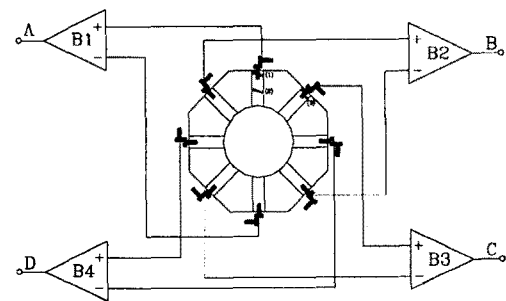


그림 2. 부러진 빔을 가진 8빔 가속도센서의 브리지 연결 구성도  
Fig. 2. Schematic diagram for Bridge connection of the eight-beam accelerometer with destroyed beams.

그림 3은 4개의 브리지 출력에서 나오는 신호를 서로 비교하여 에러를 검출하는 자기진단회로도이다. 8빔

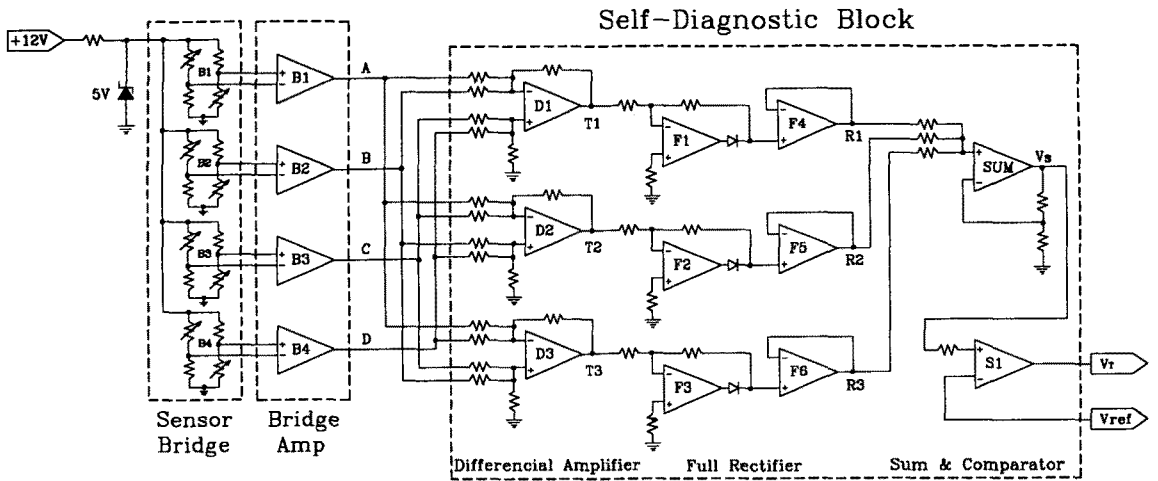


그림 3. 센서의 자기 진단 회로

Fig. 3. Self-diagnostic circuit of the accelerometer.

가속도 센서의 Z축 응답은 구조가 이상적으로 형성되었을 때 모두 동일하지만, 빔이 하나라도 부러진다면 그 빔을 포함하는 브리지 출력응답은 나머지 다른 출력신호와 다르게 나타난다. 따라서 4개의 브리지 출력을 실시간(real time)으로 서로 비교하면 빔의 파괴 여부를 쉽게 알 수 있다. 자기진단회로의 응답을 식으로 표현하면 아래와 같다.

$$T1 = -A - B + C + D$$

$$T2 = -A - C + B + D$$

$$T3 = -A - D + C + B$$

$$Vs = |T1| + |T2| + |T3|$$

이때, A, B, C, D는 B1, B2, B3, B4의 브리지 출력, T1, T2, T3은 차동증폭기를 거친 신호, R1, R2, R3은 T1, T2, T3의 전파 정류된 신호, 그리고 Vs는 합산회로를 거친 신호이다. 여기서 정류회로를 사용한 것은 T1, T2, T3 신호가 위상차에 의하여 서로 상쇄되는 것을 방지하기 위한 것이다. 그리고 센서소자 제조시 공정상의 오차에 의하여 4개의 브리지 출력이 약간의 차이를 나타낸다. 이런 차이에 의해 나타나는 출력을 고려하여 Vs와 비교하기 위한 기준전위 Vref를 적절한 값으로 설정하면 빔의 파손에 따른 출력을 검출할 수 있다. 센서가 정상적인 동작을 할 때, A = B = C = D, T1 = T2 = T3 = 0, Vr = 0 가 되어 Vref를 적당한

양의 값으로 두었을 때 Vr는 low상태가 된다. 그러나, 빔이 파괴되어 압저항이 개방(그림 2의 (1) 또는 (3)경우)되거나 압저항 이외의 부분이 파괴되어 압저항 변화가 적어질 경우(그림 2의 (2)경우), 브리지 B1의 응답은 나머지 3개의 출력과 다르게 되어 T1, T2, T3과 Vs는 0이 아니다. 결국 Vs > Vref가 되어 Vr는 high가 되면서 예러경보를 발생한다. 단, 8개의 빔이 그림 2의 (2)와 같이 파손되어 센서에 가속도가 인가되지 않고 정지되어 있는 경우(즉, 가속도가 "0"인 경우)와 4개 또는 8개의 빔이 동일하게 그림 2의 (1)과 같이 파손되어 4개의 브리지 출력이 동일한 경우에는 이상 유무를 검출할 수 없다. 그러나 이런 경우에는 실제 응용분야에서 일어날 확률은 거의 없으며, 이런 경우에는 센서에 가속도가 인가되는 순간(즉, 자동차 또는 구동체가 움직이는 순간) 센서응답을 얻는 회로에서 예러를 감지할 수 있게 할 수 있다.

그림 4는 PSPICE를 이용한 자기진단회로의 시뮬레이션 결과이다. 그림 4(a)와 같이 A, B, C는 2V의 정현파이고 D는 빔의 파손으로 인한 0.5V의 정현파일 때, 빔이 부러지기 전에는 T1 = T2 = T3 = 0으로 나타나지만, 빔이 부러지는 시점(50 ms)에서는 T1, T2는 1.5V의 값을 가지며, T3은 위상이 반전된 신호를 가지게 된다(그림 4(b)). 이때, 이들 신호가 서로 상쇄되지 않도록 전파정류를 하고(그림 4(c)), 합산회로를 통하여 이들 신호를 합산하여 얻은 Vs와 센서의 특성분석을

통해 설정된  $V_{ref}$ 를 비교기를 거치면  $V_T$ 는 그림 4(d)와 같이 나타난다.

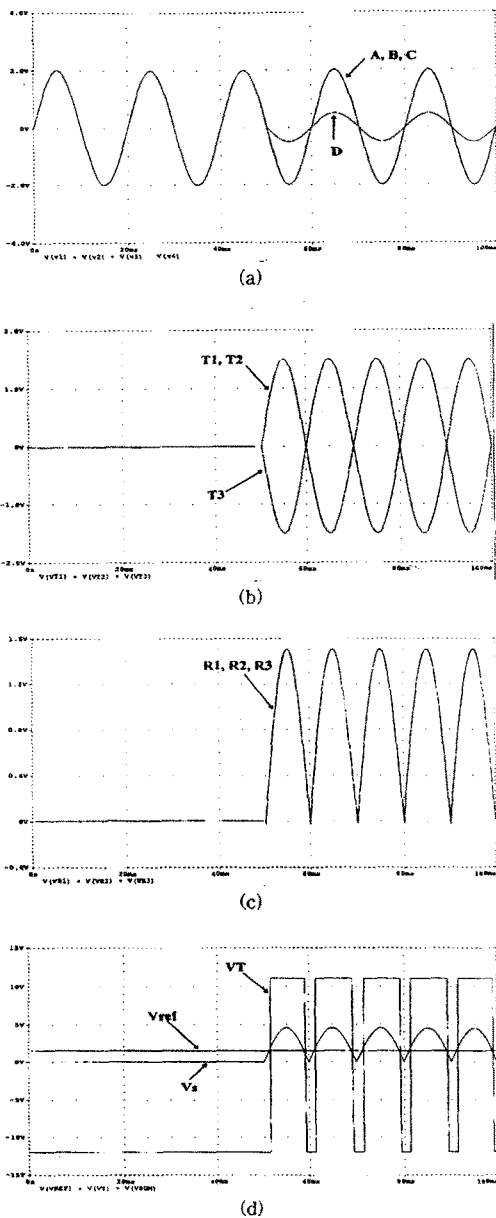


그림 4. 자기진단회로의 시뮬레이션 결과  
Fig. 4. The simulated results of self-diagnostic circuit.

#### IV. 측정 결과

그림 5는 패키징된 자기진단 칩을 테스트하기 위한 측정시스템을 나타낸 그림이다. 그림 3에서와 같이 실

제 가속도센서의 4개의 브리지 출력을 진단회로의 입력으로 인가하는 대신에, 과형 발생기에서 얻은 신호를 신호분배기를 거쳐 4개의 신호로 나누어 진단회로의 입력으로 인가하였다. 이때, 실제 제조된 가속도센서를 사용하지 못한 것은 공정을 통하여 완성된 가속도센서를 그림 2의 (1), (2), (3)과 같은 예러조건으로 빔을 파손시킬 수 없었기 때문이다. 진단회로의 비교기의 기준 전압을 전위차계(potentiometer)를 통하여 인가하며, 최종 출력상태를 4채널 오실로스코프로 관측하였다.

그림 6은 현재 상용으로 나오는 KA 324 OP-amp의 레이아웃을 사용하여 그림 3의 자기진단회로를 설계하여 IC칩으로 제조한 소자의 현미경 사진이다. 총 11개의 OP-amp가 들어가 있으며, 최종단의 비교기에서는 출력의 노이즈를 제거하기 위한 저주파 필터를 외부에서 저항과 커패시터만 연결하면 형성될 수 있도록 신호선을 만들어 놓았다. 그림 7은 그림 6의 칩을 24핀 플라스틱 패키지한 샘플의 현미경 사진이다. 표 1은 제조된 IC칩의 최대 정격(absolute maximum ratings)을 나타낸 것이다.

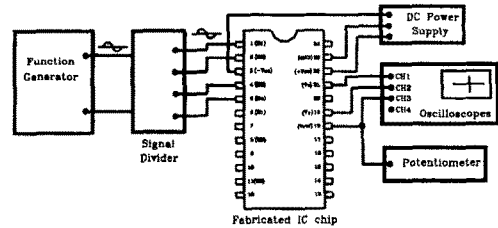


그림 5. 자기진단 칩을 테스트하기 위한 측정시스템  
Fig. 5. Measurement system for testing the Self-diagnostic chip.

표 1. 제조된 IC칩의 절대 정격

Table.1. Absolute maximum ratings of the fabricated chip

Parameter	Symbol	Rating	Units
Power Supply Voltage	$V_{cc}$	$\pm 18$ or 32	V
Differential Input Voltage	$V_{R(DIFF)}$	32	V
Input Voltage	$V_I$	-0.3 to +32	V
Power Dissipation	$P_D$	570	mW
Operating Temperature Range	$T_{OPR}$	0 ~ +70	$^{\circ}C$
Storage Temperature Range	$T_{STG}$	-65 ~ +70	$^{\circ}C$

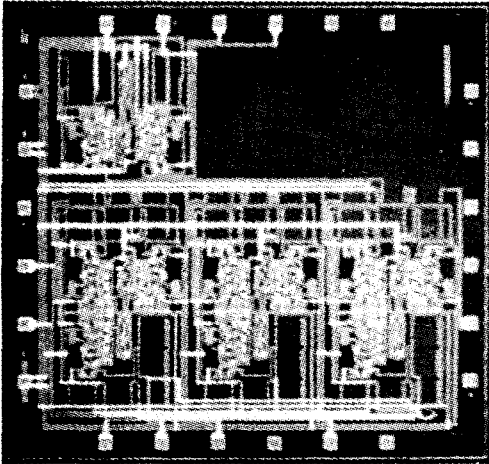


그림 6. 제조된 자기진단회로의 현미경 사진  
Fig. 6. The micro-photograph of the fabricated self-diagnostic circuit.

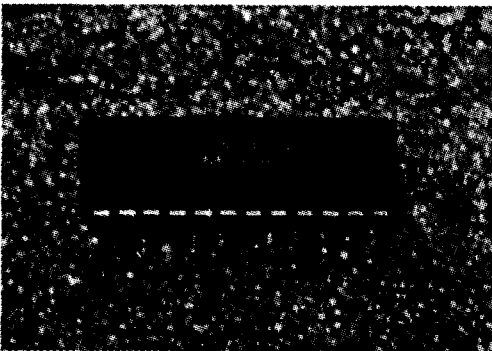
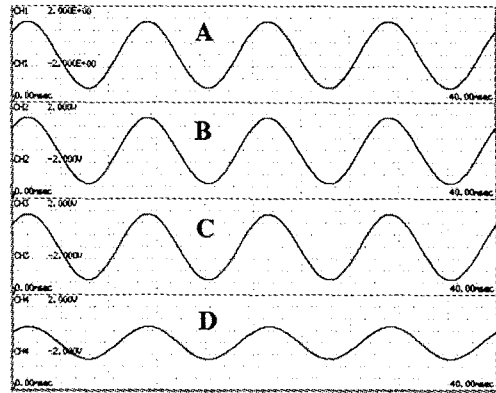
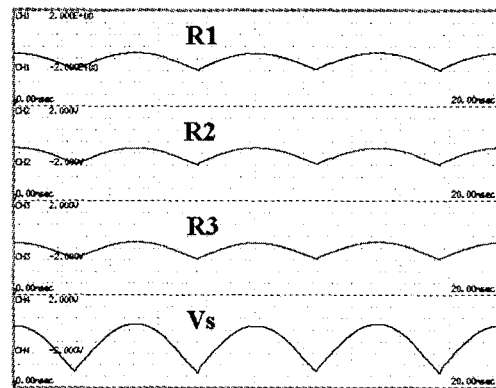


그림 7. 패키징된 칩의 현미경 사진  
Fig. 7. The micro-photograph of the packaged chip.

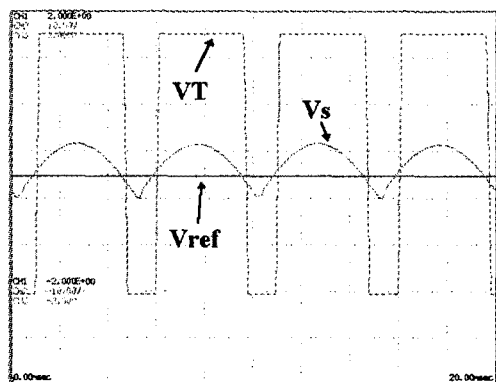
그림 8은 패키징된 IC칩을 사용하여 그림 5와 같은 측정방법을 통하여 자기진단 특성을 얻은 결과이다. 4개의 센서 브리지 출력중 하나의 브리지가 파손으로 인하여 출력이 되지 않을 경우를 가정하여 실제 가속도센서를 사용하는 대신에 파형 발생기를 통하여 입력을 넣어 주었다. 입력신호는 그림 4(a)와 같이 동일한 입력신호로 주어지고(그림 8(a)), 이때 전파 정류된 각 세 개의 출력 R1, R2, R3는 일정한 크기의 출력을 동시에 내놓게 되며(그림 8(b)), 세 출력의 합의 파형이 최종적으로  $V_{ref}$ 의 값과 비교되게 된다. 그림 8(c)는 제조된 자기 진단 회로의 최종 기능 점검 출력이다.  $V_{ref}$ 의 값과 합산된 출력  $V_s$ , 그리고 두 신호를 비교하여 최종적인 펄스와  $V_T$ 가 출력되는 것을 확인한 그림이다. 여기서 측정을 통하여 얻은 최종 검출신호는 PSPICE 시뮬레이션 결과와 동일하게 나타났다.



(a) 4개의 입력신호



(b) 전파정류된 출력신호



(c)  $V_{ref}$ 를 이용한 최종 출력신호

그림 8. 자기진단회로의 측정결과  
Fig. 8. The measured results of self-diagnostic circuit. (a) Four input signals (b) Output signals through full rectifier (c) Final output signals using  $V_{ref}$

V. 결론

8빔 압저항형 가속도센서에서 하나 이상의 빔이 파손되는 대부분의 경우에 대하여 에러신호를 검출할 수 있는 자기진단회로를 구현하고, 이를 PSPICE를 사용하여 시뮬레이션으로 그 기능을 확인하였다. 또한 현재 상용으로 나오는 KA 324 증폭기의 레이아웃을 사용하여 자기진단회로를 IC칩으로 제조하여, 24핀 플라스틱 패키징한 후 자기진단 특성을 측정하였다. 이때, 측정된 특성은 시뮬레이션 결과와 일치하였다.

참고문헌

[1] J.C. Greenwood, "Silicon in mechanical sensors.", *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, vol. 21, pp. 1114-1128, 1988.

[2] K.E. Petersen, "Silicon as a mechanical material," *Proc IEEE*, vol. 70, no. 5, pp. 420-457, 1982.

[3] M. Tsugai, and M. Bessho, "Semiconductor accelerometer for automotive controls," *Transducers '87, Dig. of Tech. Papers*, pp. 403-405, 1987.

[4] G. A. Macdonald, "A review of low cost accelerometers for vehicle dynamics," *Sensors and Actuators*, vol. A21-23, pp. 303-307, 1990.

[5] S. J. Sherman, W. K. Tsang, T. A. Core, R. S. Payne, D. E. Quinn, K. H. L. Chau, J. A. Farash, and S. K. Baum, "A low cost monolithic accelerometer: product/technology update," '92 IEDM Tech. Dig., pp. 501-504, 1992.

[6] L. Zimmermann, J. Ph. Ebersohl, F. Le Hung, J. P. Berry, F. Baillieu, P. Rey, B. Diem, S. Renard, and P. Caillat, "Airbag application: a microsystem including a silicon capacitive accelerometer, CMOS switched capacitor electronics, and true self-test capability," *Sensors and Actuators*, vol. A46-47, pp. 190-195, 1995.

[7] L. C. Spangler, and C. J. Kemp, "ISAAC: integrated silicon automotive accelerometer," *Sensors and Actuators*, vol. A54, pp. 523-529, 1996.

[8] H. V. Allen, S. C. Terry, and D. W. De Bruin, "Accelerometer systems with built-in testing," *Sensors and Actuators*, vol. A21-A23, pp. 381-386, 1990.

[9] F. Pourahmadi, L. Christel, and K. Petersen, "Silicon accelerometer with new thermal self-test mechanism," *Tech Digest, IEEE Solid-State Sensor and Actuator Workshop*, pp. 122-125, 1992.

[10] Jun-Hwan Sim, Chan-Seob Cho, Jin-Sup Kim, Jung-Hee Lee, and Jong-Hyun Lee, "Eight-beam piezoresistive accelerometer fabricated by using a selective porous-silicon etching method," *Sensors and Actuators*, vol. A66, pp. 273-278, 1998

著 者 紹 介



**박 창 현**  
 1953년 11월 02일생.  
 1975년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 현재 (주)한국 DNS 대표이사 주관심 분야 : 반도체 공정기술, 반도체 센서.



**전 찬 봉**  
 1957년 05월 08일생.  
 1981년 한양대학교 금속공학과 졸업(공학사). 1983년 한양대학교 금속공학과 대학원 졸업 (공학석사). 현재 삼성전자 반도체 제조본부 근무. 주관심 분야 : 반도체 공정기술, 반도체 센서.

**강 희 석**

1958년 11월 09일생.  
1979년 동양공업 전문대 졸업.  
현재 삼성전자 반도체 제품기술  
근무.  
주관심 분야 : 반도체 설계기술,  
회로설계.

**김 종 집**

1962년 06월 16일생.  
1987년 고려대학교 물리학과 졸  
업(공학사).  
현재 삼성전자 반도체 제조본부  
근무.  
주관심 분야 : 반도체 공정기술,  
반도체 센서.

**이 원 태**

1971년 04월 01일생.  
1993년 삼성전자(주) 반도체 기술  
대학교 졸업.  
현재 삼성전자 반도체 제조본부  
근무.  
주관심 분야 : 반도체 공정기술,  
반도체 센서.

**심 준 환**

1966년 2월 27일생.  
1991년 경북대학교 전자공학과  
졸업(공학사). 1993년 경북대학교  
전자공학과 대학원 졸업(공학석  
사). 1998년 경북대학교 전자공학  
과 대학원 졸업(공학박사).

1998. 9 - 현재 한국해양대학교 전자통신공학과 전임  
강사. 주관심 분야 : 반도체 공정설계 및 기술, 반도체  
센서, 마이크로머시닝 기술.

**김 동 권**

1974년 7월 22일생.  
1996년 경북대학교 전자공학과  
졸업(공학사). 1998년 경북대학교  
전자공학과 대학원 졸업(공학석  
사).

현재 경북대학교 전자공학과 박  
사과정. 주관심 분야 : 반도체 센서, 회로설계.

**이 종 현**

『센서학회지 제1권 1호』, 논문 92-21, p.194 참조.  
현재 경북대학교 전자전기공학부 교수