

논문 98-7-5-01

바이폴라 공정을 이용한 압력센서용 출력전압 보상회로의 설계

李 甫 那*, 金建年*, 朴孝德*

A Design of Output Voltage Compensation Circuits for Bipolar
Integrated Pressure Sensor

Bo-Na Lee, Kun-Nyun Kim, Hyo-Derk Park

要 約

본 논문에서는 오프셋전압 및 full scale 출력전압, 오프셋전압 및 full scale 출력전압의 온도특성이 보상된 집적화된 실리콘 압력센서를 설계하였다. 신호처리회로는 오프셋전압 및 full scale 출력전압을 원하는값으로 조정할 수 있고 오프셋전압의 온도 드리프트를 최소화할 수 있으며 출력전압이 양의 온도계수를 갖도록 하여 압저항계수의 온도계수와 상쇄되도록 설계하였다. 설계한 신호처리회로는 바이폴라 공정 파라미터를 이용하여 SPICE로 시뮬레이션하였다. 오프셋전압 및 full scale 출력전압의 조정을 위하여 온도계수가 서로다른 이온주입저항을 이용하였다. 시뮬레이션결과 오프셋전압 및 오프셋전압의 온도계수 조정저항을 이용하여 오프셋전압을 0.133V로 조정하였고 온도 드리프트는 42 ppm/°C로 감소시킬 수 있었다. full scale 출력전압 조정저항을 이용하여 full scale 출력전압값을 4.65V로 조정하였고 온도보상을 통해 출력전압의 온도계수를 40 ppm/°C로 감소시킬 수 있었다.

Abstract

In this paper, integrated pressure sensor with calibration of offset voltage and full scale output and temperature compensation of offset voltage and full scale output were designed. The signal conditioning circuitry are designed that calibrate the offset voltage and full scale output to desired values and minimize the temperature drift of offset voltage and full scale output. Designed circuits are simulated using SPICE in a bipolar technology. The ion implanted resistor of different temperature coefficient were used to trimming the desired values.

As a results, offset voltage was calibrated to 0.133V and the temperature drift of offset voltage was reduced to 42 ppm/°C. Also, the full scale output was calibrated to 4.65V and the temperature coefficient of full scale output was reduced to 40ppm/°C after temperature compensation.

1. 서 론

압저항형 압력센서는 자동차 MAP(Manifold Absolute Pressure)센서를 비롯하여 산업용, 의료용으

로 널리 사용되고 있어 실리콘 센서의 가장 큰 시장을 형성하고 있다. 압력센서 외에 가속도센서, 유량센서 등이 상용화되었고 이들은 대부분 신호처리회로가 동일 칩상에 집적된 형태로서 소형이고 정확하며 신뢰성이 우수하다[1][2]. 실리콘 센서는 실리콘의 압저항효과(piezoresistive effect)를 이용하는 압저항형 센서와 두 극판 사이의 커패시턴스 변화를 이용하는 용량형이

전자부품종합기술연구소 전자소자연구센터 (Korea Electronics Technology Institute, Electronic Devices Research Center)

<접수일자 : 1998년 5월 14일>

있다. 용량형 센서는 온도변화에 민감하지 않지만 실리콘의 압저항효과를 이용하는 센서는 실리콘의 압저항 계수가 온도 변화에 민감하기 때문에 이를 보상해 주기 위한 온도보상회로가 필요하다. 현재 상용화되어 있는 압저항형 압력센서는 온도보상을 위하여 NTC 써미스터를 이용하거나 온도계수가 아주 작은 박막저항을 이용하여 레저 트리밍을 하고 있다[3]. 하지만 써미스터나 박막저항을 이용하기 위해서는 별도의 박막공정이 추가되고 고가의 정밀한 레저 트리밍 장비를 이용해야하는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 별도의 공정없이 표준 바이폴라 공정으로 제작이 가능하며 메탈라인의 절단으로 쉽게 트리밍이 가능한 이온주입 저항의 온도계수차를 이용하여 온도 및 출력전압을 보상할 수 있는 방법을 제안 하였고 시뮬레이션을 통하여 그 결과를 검증 하였다.

II. 압력센서의 설계

본 논문에서 설계한 압력센서의 레이아웃은 그림 1과 같다. 저항은 감도를 향상시키기 위하여 r자형 구조로 배열하였고 코너 부분은 수평방향과 45°의 각도를 이루도록 배열하였다. (100) 방향 실리콘 웨이퍼인 경우 저항은 [110] 방향으로 배열될 때 가장 큰 압저항 계수를 얻게되며 코너부분을 수직으로 하게 되면 수직 방향만큼의 감도저하가 생기게 된다. 그러므로 본 논문에서는 코너부분을 압저항 계수가 가장 작은 [100] 방향으로 저항을 배열하였다. 저항과 저항은 일반적으로 금속도선으로 연결하지만 다이어프램위로 금속도선이 지나가게 되면 다이어프램이 받는 스트레스가 커지므로 이를 방지하기 위해서 다이어프램위에는 금속도선 대신 저항과 동일한 도전층이 지나가도록 하였고 다이어프램 외부에서 금속도선으로 연결하였다. 다이어프램 위로 지나가는 도전층은 전체 압저항 값에 미치는 영향이 최소화 되도록 길이와 폭의 비율을 조정하였다. 압력센서는 압저항값이 2.5kΩ인 4개의 브리지 저항으로 구성되어 있고 출력전압은 식(1)로 나타내어진다.

$$\Delta \frac{V}{V_{cc}} = \frac{[\Delta \frac{R}{R}]_1 - [\Delta \frac{R}{R}]_2}{2 + [\Delta \frac{R}{R}]_1 + [\Delta \frac{R}{R}]_2} \quad (1)$$

압력센서의 설계를 위하여 사용된 파라미터 값은 표

1과 같다. 표1을 이용하여 다이어프램 크기가 1.5mm×1.5mm, 다이어프램 두께가 20μm이고 다이어프램 가장자리로부터 약 25μm 떨어져 있는 압력센서를 설계하였다. 설계한 압력센서의 감도는 408.6 μV/V.kPa 이었다. 5V의 전압을 인가 하였을 때의 감도는 2mV/kPa 이었다.

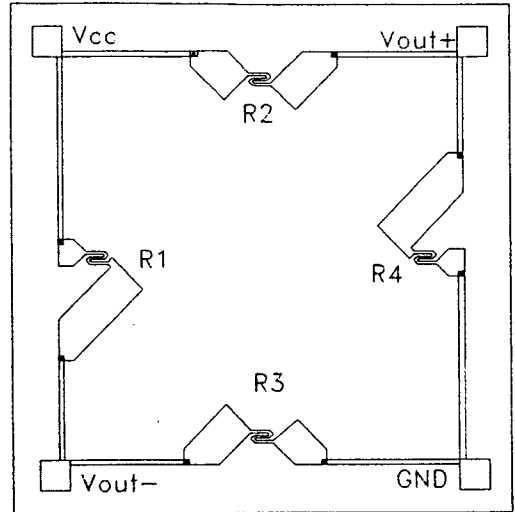


그림 1. 설계한 압력센서의 레이아웃

Fig. 1. Layout of designed pressure sensor

표 1. 압력센서 설계 파라미터

Table 1. Design parameter of pressure sensor

파라미터		설계값
불순물 농도		$3 \times 10^{18}/\text{cm}^3$
압저항계수	π_{44}	$110 \times 10^{12} \text{ dyne/cm}^2$
	π_{11}	$5.3 \times 10^{12} \text{ dyne/cm}^2$
	π_{12}	$-1 \times 10^{12} \text{ dyne/cm}^2$
	π_1	$57 \times 10^{12} \text{ dyne/cm}^2$
	π_t	$-53 \times 10^{12} \text{ dyne/cm}^2$
응력 성분	σ_1	0.294 (l/h)^2
	σ_t	0.115 (l/h)^2

III. 신호처리회로의 설계

본 논문에서 설계한 신호처리회로를 포함한 압력센서의 사양은 표 2와 같다.

표 2. 집적화된 압력센서의 사양

Table 2 Specification of integrated pressure sensor

파라미터	사 양
압력범위	0 ~ 115 kPa
온도보상 범위	-10 ~ 50 °C
출력전압	0 ~ 4.65 V
감 도	41 mV/kPa
공급전압	5 V

표 2의 사양을 만족하도록 신호처리회로를 설계하였다. 설계한 신호처리회로의 구성은 그림 2와 같다.

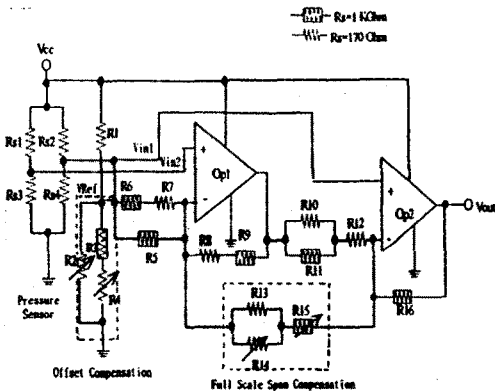


그림 2. 전체 압력센서 및 신호처리회로의 구성도
Fig. 2. Schematic diagram of intergrated pressure sensor

압력센서의 출력전압은 두 개의 연산 증폭기를 이용한 인스트루먼트 증폭기로 증폭되며 온도보상을 위하여 온도계수가 서로 다른 이온주입 저항을 이용하여 트리밍 하였다. 이온주입 저항은 면저항이 170Ω/□, 온도계수가 1700 ppm/°C인 저항과 면저항이 1kΩ/□, 온도계수가 4700 ppm/°C인 두 개의 저항으로 구성되어 있다. R1, R2, R3, R4는 오프셋전압을 조절하기 위한 저항으로 R2를 가변하여 오프셋전압을 조정하고 R4를 미세조정하여 오프셋전압의 온도 드리프트를 조정한다. R5, R6, R7, R8, R9는 첫 번째 연산 증폭기의 이득 조절을 위한 저항이고 R10, R11, R12, R16은 두 번째 연산 증폭기의 이득 조절을 위한 저항이다. R13, R14, R15는 full scale 출력전압 및 full scale 출력전압의 온도계수의 조정을 위한 저항으로 R15를 가변하여 full scale 출력전압을 조정하고 R14를 가변하여 full scale 출력

전압의 온도계수를 조정하게 된다. 저항 R3, R5, R6, R8, R11, R15, R16은 면저항이 1kΩ/□, 온도계수가 4700 ppm/°C인 이온주입 저항이고 R1, R2, R4, R7, R9, R13, R14, R10, R12는 면저항이 170Ω/□, 온도계수가 1700 ppm/°C인 이온주입저항이다. 오프셋전압 및 오프셋전압의 온도 드리프트 조정과 full scale 출력전압 및 full scale 출력전압의 온도계수의 조정은 서로 영향을 미치지 않도록 설계되었다. 오프셋전압을 조절하기 위한 저항 R2는 100Ω 단위로 트리밍 할 수 있도록 설계하였고 오프셋전압의 온도에 따른 변화를 최소값으로 조정할 수 있는 저항 R4는 미세 조정을 위하여 50Ω 단위로 트리밍할 수 있도록 설계하였다. R2, R4를 가변하여 원하는 오프셋 전압 및 오프셋전압의 온도계수를 조정된 후, full scale 출력전압 및 full scale 출력전압의 온도계수 조정을 위하여 R14, R15를 가변한다. 압 저항 계수의 온도계수가 약 -2000ppm/°C의 값을 갖게 됨으로 이의 보상을 위하여 full scale 출력전압이 양의 온도계수값을 갖도록 설계하였다. full scale 출력전압의 정확한 조정을 위하여 온도계수는 +1700 ~ +2300ppm/°C의 범위에서 가변할 수 있도록 설계하였다. R14를 1kΩ 간격으로 트리밍하여 full scale 출력전압의 온도계수를 조정할 수 있도록 하였고 R15는 0.1kΩ 간격으로 트리밍하여 full scale 출력전압을 조정할 수 있도록 하였다. 설계한 신호처리회로의 출력전압은 (2)식으로 나타낼 수 있다.

$$R_A = R_5 // (R_6 + R_7) \quad R_B = R_8 + R_9$$

$$R_C = (R_{10} // R_{11}) + R_{12}$$

$$R_G = (R_{13} // R_{14}) + R_{15}$$

$$V_{out} = \left(\frac{R_{16}}{R_C} + \frac{R_B R_{16}}{R_A R_C} + \frac{R_B R_{16}}{R_C R_G} + \frac{R_{16}}{R_G} \right) V_i n_1 + \left(\frac{R_{16}}{R_C} + \frac{R_{16}}{R_G} + 1 + \frac{R_B R_{16}}{R_3 R_G} \right) V_i n_2 + \frac{R_B R_{16}}{R_C R_A} V_{Ref}$$

(2)

CMRR을 향상시키기 위해서 RA=R16, RB=RC이므로 출력 전압은 식(3)으로 다시 쓸 수 있다.

$$V_{out} = \left(\frac{R_{16}}{R_C} + 1 + \frac{2R_{16}}{R_G} \right) V_i n_1 + \left(\frac{R_{16}}{R_C} + \frac{2R_{16}}{R_G} + 1 \right) V_i n_2 + V_{Ref}$$

$$= \left(1 + \frac{2R_{16}}{R_G} + \frac{R_{16}}{R_C} \right) V_{sensor} + V_{Ref}$$

(3)

RG는 R16과 유사한 값으로 RC와 R16으로 설정된 이득을 조정하며 RG가 너무 크면 이득에 거의 영향을 주지 않게 되고 RG가 너무 작으면 이득을 지배하게 되어 이득 조정이 힘들게 된다. RG 가변저항은 R4와 같은 최대 저항을 가져야 한다[4][5]. 옙셋 전압의 설정을 위한 VRef는 R1, R2, R3, R4의 저항 분배에 의해 식 (4)의 값을 갖게된다.

$$V_{Ref} = V_{cc} \frac{R_2 // (R_3 + R_4)}{R_1 + R_2 // (R_3 + R_4)} \quad (4)$$

연산증폭기는 센서 신호의 증폭에 적합하도록 단일 5V 전원을 이용하여 최대 출력전압이 4.97V까지 증폭되고 입력 임피던스가 높고 입력 바이어스전류 및 입력 옙셋전압이 작도록 설계하였다[6][7][8]. 그림 3에 설계한 연산 증폭기를 나타내었다.

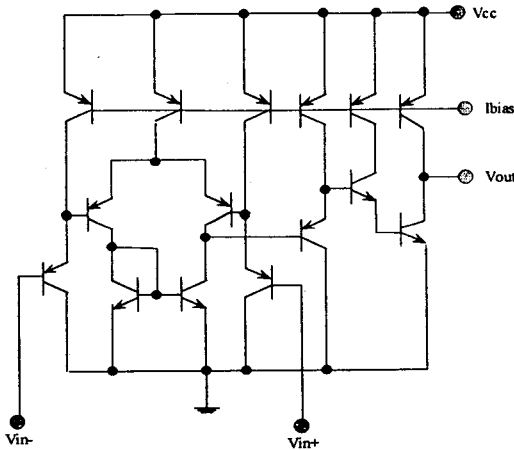


그림 3. 연산 증폭기의 회로도

Fig. 3. Circuit diagram of operational amplifier

IV. 시뮬레이션 결과 및 고찰

II 절에서 설계한 압력센서를 신호처리회로에 연결하여 표 2의 사양을 만족하도록 바이폴라 공정 파라미터를 이용하여 SPICE로 시뮬레이션 하였다. 압저항 값과 압저항 계수의 온도계수는 모두 동일하다고 가정하였다.

그림 4는 압력센서의 출력 특성을 시뮬레이션하기 위하여 실온에서, 인가한 압력만큼 압저항을 임의로 가변시켜 출력전압 특성을 관측한 것이다. 압저항의 변화율은 $2.174\Omega/kPa$ 이고 압력 감도는 39.3 mV/kPa 로 선형

특성을 나타내었다.

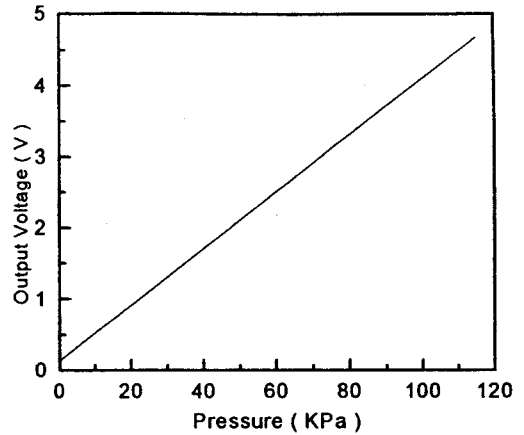


그림 4. 압력센서의 출력전압

(온도=25℃, R14=5kΩ, R15=3.9kΩ, R2=0.15kΩ, R4=0.2kΩ)

Fig. 4. The output voltage of pressure sensor

옙셋전압 조정을 위한 저항 R2 및 R4를 가변시켜 옙셋전압 및 온도에 따른 옙셋전압의 변화를 조정할 결과 25℃에서의 옙셋전압 출력은 R2, R4의 변화에 민감하지 않지만 그 이하와 이상의 온도에서는 옙셋전압이 민감하게 변화하였다. -10℃에서 저항 R2와 R4의 가변에 따른 옙셋전압의 온도계수 변화를 시뮬레이션한 결과 저항 R2는 $0.11\text{ mV}/\Omega$, 저항 R4는 $5.7\text{ }\mu\text{V}/\Omega$ 을 나타내었다. 이로부터 먼저 저항 R2로 옙셋전압을 조정 한 후, 저항 R4로 미세조정하여 옙셋 전압은 0.133V, 옙셋전압의 온도계수는 $42\text{ ppm}/\text{℃}$ 로 조정할 수 있었다.

압력센서 출력전압의 온도계수 조정은 옙셋전압을 조정 한 상태에서 압력인가에 따른 온도계수 변화가 압력범위에 따라 서로 다른값을 갖게됨으로 이를 고려하여 full scale 출력전압에서의 온도계수가 원하는 값을 갖도록 설계하였다. full scale 출력전압의 온도계수 조정을 위하여 R14의 값을 $0.1k\Omega \sim 10k\Omega$ 으로 가변시키면서 온도계수를 계산하였다. 원하는 온도계수값으로 조정 한 후, 25℃에서 출력이 4.65V가 되도록 R15를 가변하여 full scale 출력전압을 조정하였다. 그림 5는 R14 및 R15의 가변에 따른 옙셋전압의 영향을 시뮬레이션한 결과이다. 옙셋전압은 R14, R15의 가변에 영향 받지 않고 일정한 값을 가짐을 알 수 있었다.

full scale 출력전압 보상을 위하여 R14, R15저항을 조정 한 결과를 그림 6에 나타내었다. R14=0.1kΩ,

R15=8.5kΩ일 때 최대 압력 범위에서 +1719 ppm/°C를 나타내었고 R14=10kΩ, R15=1kΩ에서 +2224 ppm/°C의 값을 나타내었다. 그러므로 III절의 설계치와 거의 일치하는 보상범위를 얻을 수 있었다.

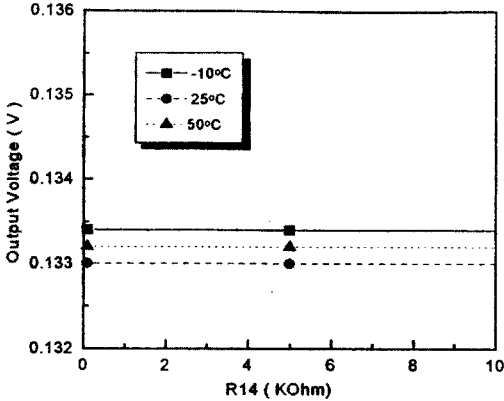


그림 5. R14의 가변에 따른 오프셋 전압의 온도계수 변화
Fig. 5. The temperature coefficient of offset voltage as a variation of R14

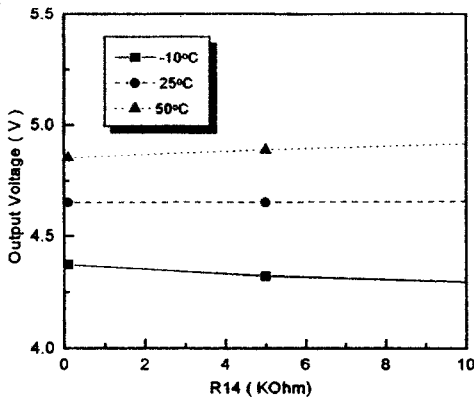


그림 6. R14의 가변에 따른 full scale 스펀의 온도 계수 변화
Fig. 6. The temperature coefficient of full scale span as a variation of R14

온도보상 효과를 시뮬레이션하기 위하여 센서부의 출력전압이 부의 온도계수를 갖도록 압저항의 온도계수를 임의로 가변하였다. 그림 7은 압저항의 온도계수를 가변한 상태에서 full scale 출력전압의 온도계수가 -2223 ppm/°C일 때, 오프셋 및 출력전압, 오프셋 및 출력전압의 온도계수를 조정하면, 보상효과를 시뮬레이션한 것이다. 출력전압은 온도변화에 거의 영향받지 않는

안정한 출력을 나타냄으로서 보상이 잘됨을 알 수 있었고 출력전압의 온도계수는 40ppm/°C 이었다.

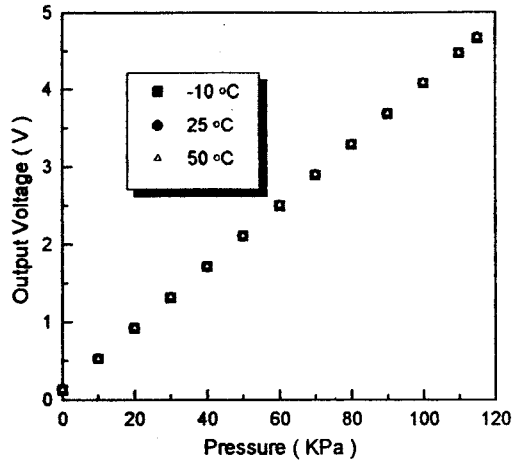


그림 7. 온도보상후 압력센서의 출력전압의 온도에 따른 변화
Fig. 7. The output voltage of pressure sensor as a function of temperature

V. 결론

본 논문에서는 온도계수가 서로다른 이온주입 저항의 트리밍을 통하여 온도 및 출력전압을 보상할 수 있는 집적화된 실리콘 압력센서를 설계하였고 바이폴라 공정 파라미터를 이용하여 SPICE로 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 오프셋전압 및 full scale 출력전압을 원하는 값으로 조정할 수 있었으며 오프셋전압 및 full scale 출력전압의 온도드리프트를 감소시킬 수 있었다. 또한 오프셋전압의 조정은 출력전압에 영향을 미치지 않음으로서 독립적인 조절이 가능하였다.

이온주입 저항은 별도의 공정을 추가하지 않고 표준 바이폴라 공정의 베이스 및 저항 공정 단계에서 동시에 제작이 가능하므로 기존의 박막 저항을 이용하는 방법보다 비용이 절감되고 공정이 용이한 장점이 있다.

향후, 압력센서 제작을 통해 정확한 센서 특성 파라미터를 추출한후 트리밍 저항을 설계하고 집적화된 칩을 제작한다면, 기존의 상품화되어 있는 센서보다 저가적이고 우수한 특성의 센서를 얻을 수 있으리라 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] J. M. Borkey and K. D. Wise, "Integrated Signal Conditioning for Pressure Sensor," IEEE Trans. on Electron Devices, Vol. ED-26, 1979, pp. 1906-1910
- [2] H. Tanigawa, T. Ishihara, M. Hirata and K. Suzuki, "MOS Integrated Silicon Pressure Sensor," IEEE Trans. on Electron Devices Vol. ED-32, No. 7, 1985, pp. 1191-1195
- [3] Tandeske, "Pressure Sensors," Marcel Dekker, Inc., 1991.
- [4] Eric Perraud, "Adapt silicon pressure sensors to low ranges to reach mass markets," EDN, Mar. 28, 1996, pp. 149-152
- [5] Eric Jacobsen and Jeff Baum, "Home-brewed circuits tailor sensor outputs to specialized needs," EDN, Jan. 5, 1995, pp. 75-82
- [6] A. B. Grebene, "Bipolar and MOS Analog Integrated Circuit Design," John Wiley & Sons., 1984.
- [7] Gray Mayer, "Analysis and Design of Analog Integrated Circuits, Wiley, 1984.
- [8] Soclof, "Analog Integrated Circuits," Prentice-Hall, Inc., 1985.

 著 者 紹 介



김 건 년
1968년 11월 22일생. 1991년 아주대학교 제어계측공학과 졸업(공학사), 1993년 아주대학교 대학원 제어계측공학과 졸업(공학석사), 현재 전자부품종합기술연구소 마이크로머신 사업단 전임연구원, 주

관심분야 : Si 마이크로머시닝 기술, 마이크로센서 및 액츄에이터

이 보 나

『센서학회지 제5권 6호』 참조.

박 효 덕

『센서학회지 제5권 1호』 참조.