

ISFET를 이용한 pH-meter의 개발

°오병성·서화일·이종현·손병기  
경북대학교 전자공학과

Development of pH-meter using ISFET

°Byung-Sung Oh, Hwa-Il Seo, Jong-Hyan Lee, Byung-Ki Sohn  
Dept. of Electronics, Kyungpook National University

Abstract

A pH-meter has been newly developed by using on ISFET as the ion sensing element. The performance characteristics of the developed pH-meter have been investigated and confirmed to be used practically. The stable operation and the temperature compensation were stressed in this study.

1. 서 론

용액중의 수소이온 농도 즉, pH의 측정은 분석화학, 생의학 및 환경관리 분야 등에서 매우 필요하고 중요한 일이다. 이온농도를 측정하기 위해 지금까지 사용되어온 ISE(ion-sensitive electrode)는 용적이 크고 응답속도가 느리며 또한 내부 임피던스가 크므로 이의 측정회로는 매우 복잡해 진다는 단점이 있다.

ISFET(ion sensitive field effective transistor)<sup>1-2)</sup>는 반도체를 이용한 새로운 이온센서로서 극소형이고 집적회로제조공정으로 제조되므로 규격화가 가능하며 특히 빠른 응답속도를 가지므로 시간에 따라 변화하는 수소이온 농도에 대한 응답을 지속적으로 모니터링 할 수 있다는 커다란 장점을 지니고 있다. 또한 높은 입력임피던스 및 낮은 출력임피던스를 가지므로 측정기 설계에도 한결 유리하다.

본 연구에서는 이러한 장점을 가지는 ISFET를 이용하여 용액내의 pH를 소수점 이하 둘째 자리까지 측정할 수 있는 pH-meter를 설계 제작하였다. 정밀한 측정을 위해 저드리프트 OP Amp를 사용하였으며 별도로 온도 보상회로를 구성하였다. 이렇게 제작된 pH-meter의 동작 특성을 조사하였으며 그 실험가능성을 확인하였다.

II. ISFET의 이론

ISFET의 구조는 MISFET의 구조와 비슷하나 MISFET의 게이트 금속 부분이 기준전극/용액/감지온막으로 대체된다는 점이 다르다. 본 연구에서 사용한 ISFET의 기본구조는 다음과 같다.

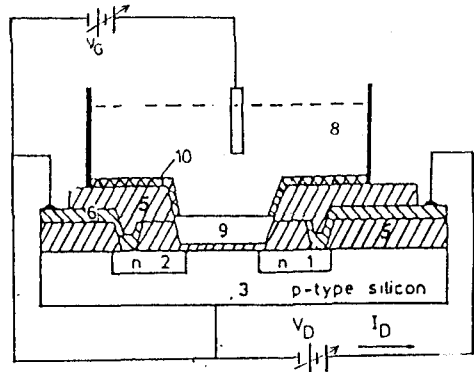


Fig.1. Schematic diagram of ISFET

- 1=drain, 2=source, 3=substrate,
- 5=insulator, 6=metal lead,
- 7=reference electrode, 8=solution,
- 9=membrane, 10=encapsulant.

게이트 전극에 가해진 전압이 문턱전압 보다 높아지면 전장 효과에 의해 게이트 절연체 밑쪽의 실리콘 표면 부근에서 반전층이 형성되어 전류가 흐르게 된다. 이때 용액과 이온 감지막 사이의 경계면에서 용액내의 특정 이온이 감지막과 반응하여 선택적으로 흡착하므로 그에 상응하는 전기화학적 전위차가 문턱전압을 변화시킨다. 따라서 용액내 이온의 농도가 채널 콘덕턴스를 변화시켜 드레인 전류  $I_D$ 가 변하게 되어 이를 검출함으로써 이온 농도를 예측할 수 있다.

III. pH-meter의 이론

ISFET pH-meter는 이온 농도 변화에 대한 ISFET의 응답을 검출하는 검출부와 ISFET의 전기화학적 전위가 상온의 pH 7.00에서 0이 되게 조절하는 영점 조절부, ISFET의 감도, 조절부, 온도 보상회로 및 DVM으로 구성되어 있다.

그림 2는 pH-meter의 Block Diagram이며 그림 3은 Block Diagram에 바탕을 둔 pH-meter의 회로도이다. 출력단의 SW1이 V에 있을 경우 DVM에는  $V_{RS}$  자체가 나타나며 pH에 있을 경우 이를 pH로 환산해 DVM에 Display하게 된다. SW2는 용액교환시 ISFET에 흐르는 전류를 차단하여 ISFET를 보호하기 위한 것이다.

1. 검출부

측정하고자 하는 용액에서 동작하는 기준전극과 ISFET, 그리고 ISFET에 일정한 전류를 흘려줄 정전류원으로 구성되었다. 용액의 수소 이온 농도가 변하면 ISFET의 전류가 변화하려고 한다. ISFET의 드레인과 소스간의 전류는 정전류원<sup>3)</sup>에 의해 고정되어 있으므로 결국  $V_{RS}$ 가 변하게 되어 Buffer A<sub>1</sub> 통해 zero 조절부로 들어간다. 이  $V_{RS}$ 의 변화를 측정하여 pH 변화를 검출할 수 있다. 이러한 측정 방법은  $V_{RS}$ 와  $I_{DS}$ 가 일정하기 때문에 ISFET의 내부 전기적 조건이 일정하게 되어 순수

한 pH 변화만을 검출할 수 있으며 또한 그 감도가 ISFET의 동작점과 제작과정의 소자변수들에 의한 영향을 받지 않으므로 양호한 측정방법이라 할 수 있다. ISFET에 직접 연결된 정전류원은 검출부의 안정도에 매우 큰 영향을 미치게 되므로 제너다이오드와 Si 다이오드를 이용하여 온도와 전원전압의 변동에 의한 영향을 제거하였다.<sup>3)</sup>

2. Zero 조절부

검출부 출력, 가변전원 및 Adder로 구성되어 있다. pH 7 표준용액에 ISFET를 넣었을 때 검출부의 출력을 0으로 만들어 주어 pH 7.00 조정과 감도 조절을 독립적으로 행하기 위한 회로이다. 조절 방법은 SW1을 V에 두고 R 8을 조정하여 DVM에 0이 나오게 한다.

3. pH 7.00 조절부

pH 7.00 표준용액에서 zero 조정후 A5의 출력이 0가된 상태에서 DVM에 pH 7.00을 나타내기 위한 회로이다. 방법은 SW1을 pH에 두고 R26을 조절하여 A9의 출력전압이 700mV가 되도록 하여 DVM에 pH 7.00이 display되게 한다.

4. 감도 조절부

ISFET의 감도는 60mV/pH 이하이다. DVM이 pH로 나타내려면 1 pH당 100mV의 변화를 보여야 하므로 실제 ISFET의 응답을 증폭하여야 한다. 이를 위한 것으로 R17을 조정하여 증폭도를 조절함으로써 100mV/pH의 감도가 되게 한다.

5. 온도 보상회로

측정회로 자체가 측정중의 온도 변화로 인해서 영향을 받게 된다. 이러한 온도의 영향을 보상해 주기 위하여 온도센서인 AD 590을 이용한 온도 보상회로를 구성하였다. AD 590<sup>5)</sup>은 전류 출력형 소자로서 직선성이 우수하고 사용전원 범위가 넓어 안정된 보상을 할 수 있다. 회로에서 ZD1은  $k$ 를  $C$ 로 바꾸어 주기 위한 offset 조절용 가변 저항이다.

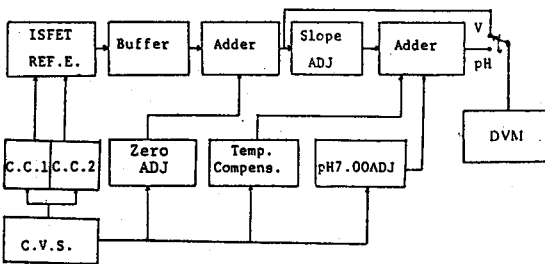


Fig.2. Block diagram of pH-meter

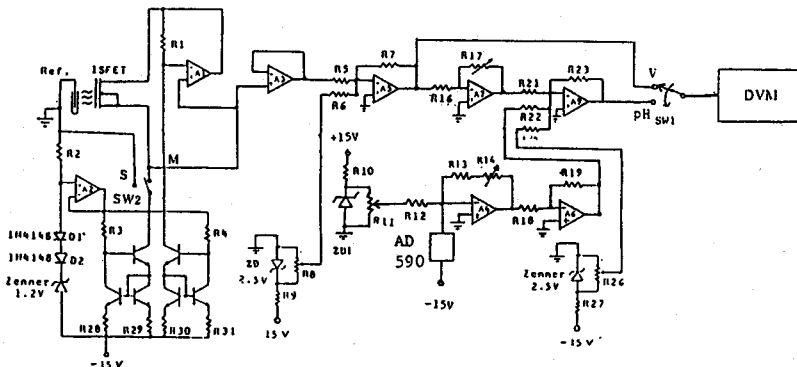


Fig.3. operating circuit diagram of the pH-meter

N. 실험

1. pH-meter의 제작

그림 3의 회로도와 같이 pH-meter를 제작하였다. 온도에 의한 불안정성을 제거하고 회로의 정밀도를 높이기 위해 저 drift 소자를 사용하였으며 pH는 소수점 둘째 자리까지 표시하도록 하였다. 전원선과 신호선은 가능한 거리를 멀리 했으며 접지는 1점 접지를 원칙으로 하였다. 또한 신호선은 차폐하였다.<sup>4)</sup>

2. 온도보상

제작된 pH-meter의 온도 보상을 위해 보상회로가 없는 상태에서 온도를 6°C에서 50°C까지 변화시키면서 pH-meter의 의존성을 조사한 다음 온도 보상회로를 설치하고 난 후의 온도 의존성을 조사하여 서로 비교하였다. 온도 의존성 조사는 IS-FET의 드레인과 소오스를 임의의 저항을 써서 단락시켜 놓은 상태에서 항온조를 이용하여 온도를 가변시켜 가면서 매시간 측정하였으며 보상회로는 20°C에서 출력을 0으로 한 다음 1°C당 출력이 1.35mV가 되도록 이득을 조정하였다.

V. 결과 및 고찰

그림 4는 pH-meter에 사용된 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> gate ISFET의 출력 특성을 나타낸 것이다. 이때 감도는 54mV/pH였으며 좋은 직선성을 나타냄을 알 수 있다.

그림 5와 그림 6은 제작된 pH-meter의 외부 및 내부의 사진이다. pH-meter의 전체 회로는 전원부, DVM 및 pH 측정 회로로 이루어져 있다.

그림 7은 온도 보상 전후의 특성을 나타낸 그림이다. 온도 보상 후 출력의 온도 의존성은 0.17mV/°C로서 보상전의 경우보다 훨씬 안정한 특성을 보임을 알 수 있다.

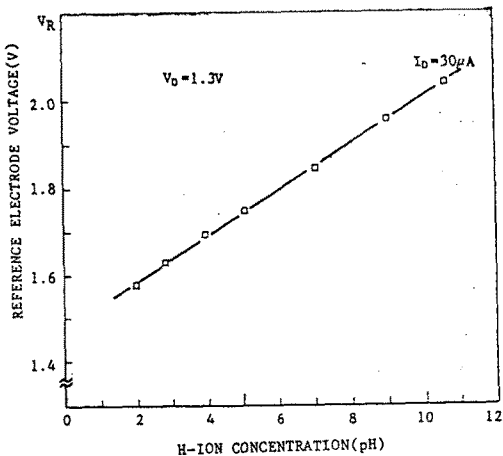


Fig. 4. Characteristics of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> gate ISFET

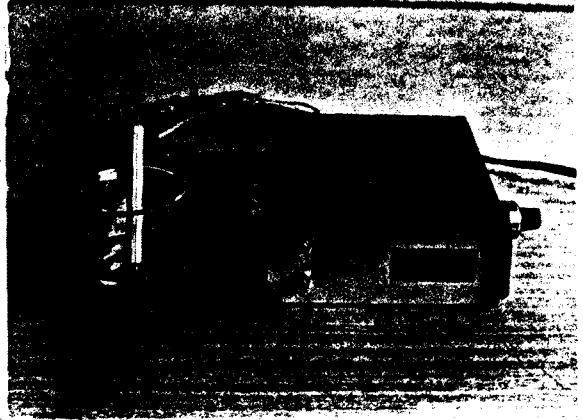


Fig. 5. External photograph of pH-meter

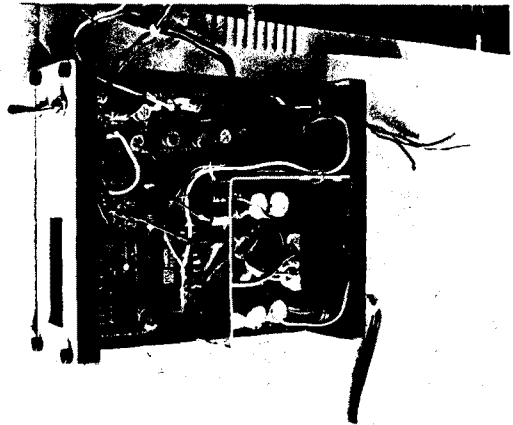


Fig. 6. Internal photograph of pH-meter

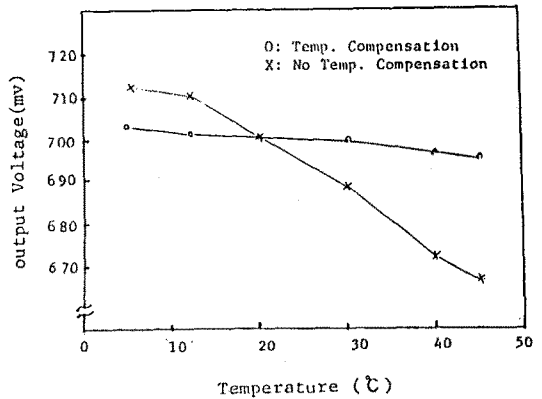


Fig. 7. Temperature dependence of pH-meter

VI. 결 론

ISFET를 이용하여 용액내의 수소이온 농도를 측정할 수 있는 pH-meter를 설계·제작하고 그 특성을 조사하였다. 정밀한 측정을 위해 저 드리프트 소자들을 이용하였으며 별도의 온도 보상회로를 구성하였다. 제작된 pH-meter는  $0.17\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$  이하의 낮은 온도 드리프트를 보였으며 ISFET와 연결하여 사용하였을 때 잘 동작함을 확인하였다. 사용상의 편리를 위해 자동회로의 자동화가 요구된다.

참 고 문 헌

1. P. Bergveld: Development of an ion-sensitive solid state device for neurophysiological measurement, IEEE Trans., BME-21:485-487, 1974.
2. B.K. Sohn: Ion sensitive field effect transistors, J. Korean institute of Electronics Eng., 18:22-29, 1981.
3. Paul R. Gray and Robert G. Meyer: Analysis and Design of Analog Integrated circuits, John Wiley and sons, California(1983), pp.244-284-289.
4. Rich, Alan: Shielding and Guarding, Analog Dialogue 17-1, 1983, page 8.
5. 荒井由太郎: 센서인터페이스, 기전연구사, 서울(1986), pp.161-193.