

## 집적화된 CMOS 센서의 패키징 연구 및 특성 평가

노지형<sup>\*\*\*\*</sup>, 권혁빈<sup>\*\*</sup>, 신규식<sup>\*\*\*</sup>, 조남규<sup>\*\*\*</sup>, 문병무<sup>\*</sup>, 이대성<sup>\*\*\*</sup>  
고려대<sup>\*</sup>, 단국대<sup>\*\*</sup>, 전자부품연구원<sup>\*\*\*</sup>

### The Study and characteristics of integrated CMOS sensor's packaging

Ji-Hyoung Roh<sup>\*\*\*\*</sup>, Hyeok-Bin Kwon<sup>\*\*</sup>, Kyu-Sik Shin<sup>\*\*\*</sup>, Nam-Kyu Cho<sup>\*\*\*</sup>, Byung-Moo Moon<sup>\*</sup>, Dae-Sung Lee<sup>\*\*\*</sup>  
Korea University<sup>\*</sup>, Dan-Kook University<sup>\*\*</sup>, Korea Electronics Technology Institute<sup>\*\*\*</sup>

**Abstract** - In this paper, we presented the packaging technologies of CMOS ISFET(Ion Sensitive Field Effect Transistor) pH sensor using post-CMOS process and MCP(Multi Chip Packaging). We have proposed and developed two types of packaging technology. one is one chip, which sensing layer is deposited on the gate metal of standard CMOS ISFET, the other is two chip type, which sensing layer is separated from CMOS ISFET and connected by bonding wire. These proposed packaging technologies would make it easy to fabricate CMOS ISFET pH sensor and to make variety types of pH sensor.

#### 1. 서 론

건강한 생활을 위한 의료용 및 환경용 센서에 대한 개발요구가 지속되고 있는데 그 중 혈당과 수질 측정용 센서들이 가장 많은 수요를 차지하고 있다.[1][2] 수질 검사 항목 중에 산성도 측정에는 유리 전극 pH 센서가 이용되었으나 크고 깨지기 쉬운 단점이 있어 ISFET(Ion Sensitive FET) 방식의 초소형 pH 센서가 선호되고 있다. ISFET pH 센서는 FET 게이트를 수소이온 감지막으로 대체되어진 단일 FET 구조이고 전용 공정을 이용한다.[3][4][5] 신호처리 회로는 외장된다. 그런데 CMOS 구조의 ISFET는 신호처리회로와 함께 집적될 수 있어 회로와 일체화된 CMOS ISFET에 대한 연구가 최근 활발하다.[6]

본 연구에서는 증폭 및 보정회로를 내장하고 CMOS 공정으로 제작된 CMOS ISFET 센서의 post-CMOS 패키징 기술을 제시하였다. 또한 FET의 알루미늄 게이트 금속층 위에 형성된 감지막의 성능을 확인하고 누설전류를 최소화 하는 절연특성이 우수한 에폭시 패키징 공정을 개발 하였다. 특히 감지막의 내구성을 높이기 위해 CMOS 공정후 상부면에 감지막을 형성한 one-chip 구조의 센서와 감지막을 별도의 칩으로 제작하여 와이어로 연결한 two-chip 구조의 센서를 제작하여 특성을 평가하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 제작 및 패키징

이번 연구에 사용된 CMOS FET chip은 일반적인 0.35um 공정을 기반으로 제작되었다. 소자의 layout 및 block diagram은 그림 1과 같다. 소자의 크기는 1250um x 2500um 이다.

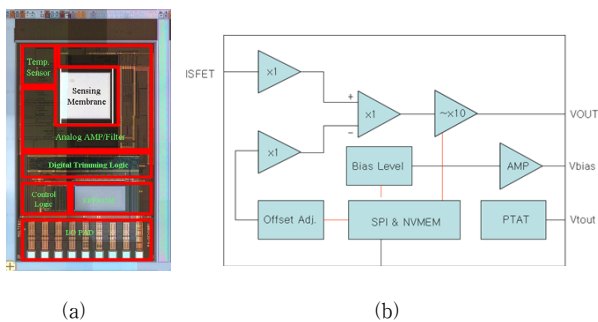


그림 1. CMOS FET 구조 및 block diagram

이렇게 제작된 chip을 CMOS ISFET pH 센서로 사용하기 위해서는 CMOS FET chip의 gate 부분에 이온을 감지할 수 있는 감지 전극을 형성해야 한다. 그러나 CMOS FET chip 위에 감지막을 바로 형성할 경

우 감지막의 증착시 CMOS FET chip의 알루미늄 배선에 의해 고온공정을 사용할 수 없는 단점이 있다 따라서 본 논문에서는 one-chip 및 two-chip 형태의 패키지에 따른 CMOS ISFET의 특성을 평가하였으며 그 개략도를 그림 2에 나타내었다.

One-chip 공정은 CMOS FET chip의 게이트를 이온 감지막으로 사용하기 때문에 고온공정을 진행하기 어렵다. 따라서 감지막으로 PECVD 공정을 이용하여 silicon oxide 및 silicon nitride를 증착 하였다. Silicon oxide는 누설전류를 막기 위해 증착을 하였고, silicon nitride는 pH를 감지하기 위한 감지막으로 증착을 하였다.

Two-chip 공정은 저저항 실리콘 웨이퍼위에 감지막으로 LPCVD 공정을 이용하여 silicon oxide 및 silicon nitride 막을 증착하였다. PECVD를 이용한 박막은 LPCVD 공정을 이용한 박막에 비해 막질의 형성이 불균일하여 누설전류가 발생할 가능성이 있다.

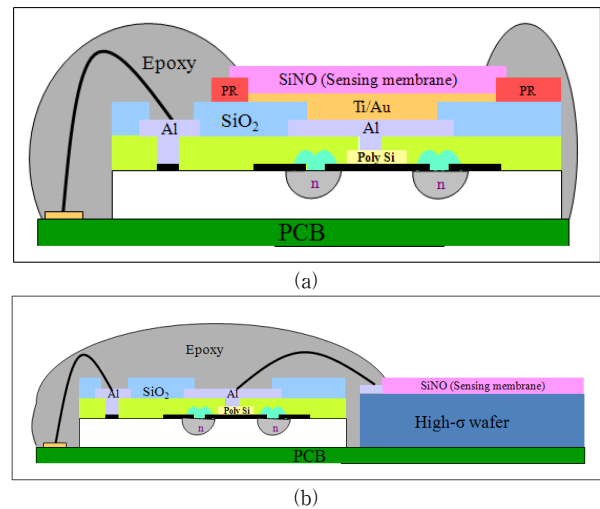


그림 2. Packaging (a) One chip type (b) Two chip type

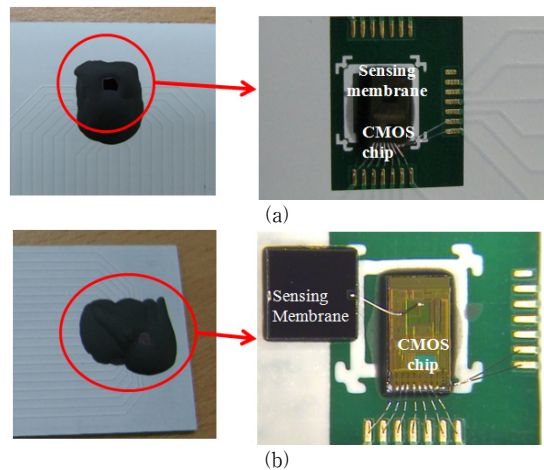


그림 3. packaging 된 CMOS ISFET pH sensor (a) one chip pH sensor (b) two chip ph sensor

실제 제작된 샘플은 그림 3에 나타내었다. Two-chip의 경우 패키징의 크기는 one-chip보다 크지만 공정상 패키지가 용이하고, 다양한 모양 및 다양한 위치에 감지막을 놓고 패키징을 할 수 있어서 다양한 모양과 크기의 ISFET pH 센서로 제작이 가능하다.

## 2.2. 특성 평가

그림 4는 기준 전극에 따른 CMOS FET chip의 이득 특성과 오프셋에 대한 그래프이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 프로그램의 오프셋과 기준전극(reference electrode)의 전압에 따라 출력전압이 변하고 오프셋이 올라갈 때 마다 기준 전극의 문턱 전압이 높아지는 것을 확인하였다. 또한 오프셋이 증가할 때 마다 출력 값이 떨어지는 것을 확인하였다. 이러한 CMOS FET chip의 특성을 기반으로 one-chip 및 two-chip 형태의 패키징을 하였고 평가 하였다.

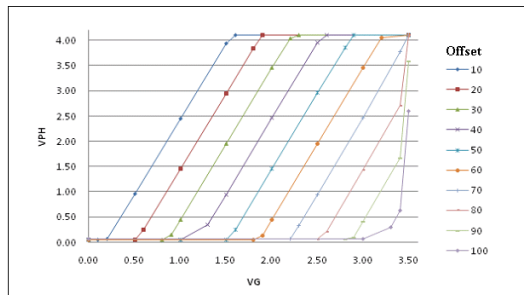
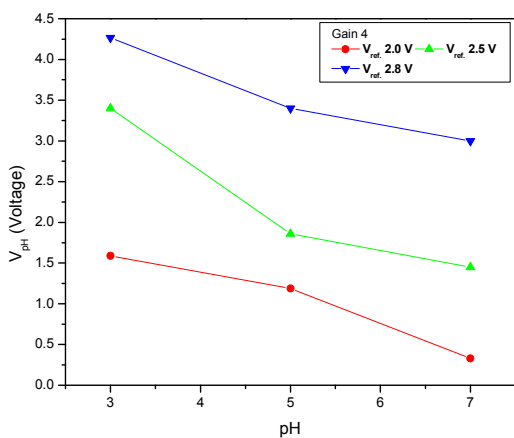
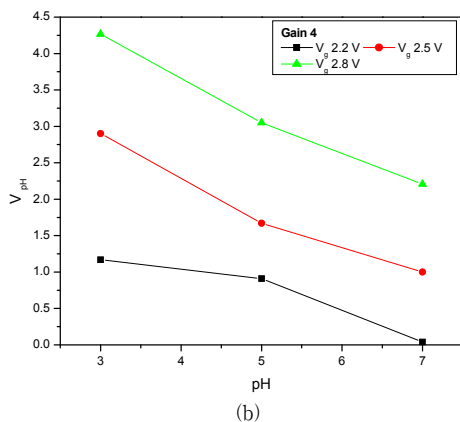


그림 4. 기준전극에 따른 CMOS ISFET pH sensor의 이득특성 및 오프셋



(a)



(b)

그림 5. packaging type에 따른 CMOS ISFET의 특성평가  
(a) one chip type (b) two chip type

그림 5는 패키지 형태별로 기준전극에 가해진 전압의 변화에 따른 CMOS FET chip의 digital 출력값을 나타낸 그림이다. 그림에서 보듯이

기준 전극에 가해진 전압이 증가함에 따라 출력값이 증가함을 확인할 수 있으며, 측정 용액의 pH에 따라서는 출력값이 선형적으로 변화함을 확인 하였다. 또한 one-chip 및 two-chip 형태의 패키지 형태에 따른 출력값의 차이가 미미함을 확인할 수 있다.

따라서, one chip 및 와이어 본딩을 이용한 two chip 형태의 CMOS ISFET pH sensor가 정상적으로 작동함을 확인하였다. 기준전극의 전압을 2.8V로 가해진 경우 one-chip보다 two-chip의 감도가 높음을 확인할 수 있었으며, 그 원인은 감지막의 면적이 one-chip 보다 two-chip의 경우 더 넓기 때문이라고 판단된다. 표 1은 기준전극과 이득에 따른 CMOS ISFET 감도를 나타는 표이다.

<표 1> 기준전극과 gain에 따른 pH 감도

| chip type | Gain | Reference Voltage(V) |          |
|-----------|------|----------------------|----------|
|           |      | 2.5 V                | 2.8 V    |
| one chip  | 4    | 475mV/pH             | 317mV/pH |
| two chip  | 4    | 488mV/pH             | 515mV/pH |

## 3. 결 론

본 실험에서는 패키징 타입에 따른 특성을 평가하여 CMOS ISFET pH 센서의 다양한 분야에 적용을 위한 결과를 확인하였다. one-chip과 two-chip 모두 정상적으로 pH 용액에서 작동을 하였으며, two-chip의 경우 one-chip보다 누설 전류가 적고 2.8V 이상에서 감도가 향상되었음을 확인할 수 있다. 또한 two-chip의 경우 와이어 본딩을 이용하여 감지막 만을 외부에 노출시키기 때문에 외부 환경으로부터 CMOS FET chip을 보호 할 수 있으며, 공정 온도에 제약을 받지 않아서 다양한 감지막 증착이 가능한 장점을 가지고 있다. 마지막으로 two chip은 패키징 공정을 단순화시킬 수 있으며, 감지막의 면적을 넓게 하여 CMOS ISFET의 감도를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 차후 연구에서는 바이오센서 및 가스 센서로서 CMOS FET 소자의 구동을 시켜 특성을 확인해 보고자 한다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부 21세기 프론티어 지능형 마이크로 시스템 개발 사업으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Byungchul Jang, Arjang Hassibi, "Biosensor system in standard CMOS processes: fact or fiction?", IEEE, 2045-2050, 2008
- [2] S.V. Dzyadevych, A. P. Soldatkin, A. V. El'skaya, C. Martelet, N. Jaffrezic-Renault "Enzyme biosensors based on ion selective field effect transistors", Analytica Chimica Acta, 568, 248-258, 2005
- [3] M. Castellarnau, N. Zine, J. Bausells, C. Madrid, A. Juarez, J. Samitier, A. Errachid, "ISFET-based biosensor to monitor sugar metabolism in bacteria", Material Science and Engineering, C 28, 680-685, 2008
- [4] P. Bergveld, "Thirty years of ISFETOLOGY: what happened in the past 30 years and what may happen in the next 30 years", Sensors and Actuators B, Chemical 88, 1-20, 2003
- [5] M. Moïn pour, P.W. Cheung, E. Liao, C.Y. Aq, E. B. Weiler, "Chemical response of Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub> Structures used in pH micro-electronic sensors in: Images of the Twenty-First, Century, Proceedings of th Annual International Conference of the IEEE Engineering, Vol. 4, 1084-1085, 1989
- [6] M.J. Milgrew,, "Matching the transconductance characteristics of CMOS ISFET arrays by removing trapped charge", IEEE transaction on electron devices, vol 55 No 4, 1074-1079, 2008