

# K 및 Al 이종이온주입된 SiO<sub>2</sub> 박막의 pH, pNa 및 pK 농도 감지특성에 관한 연구

論文  
52C-7-4

## A Study on the pH-, pNa- and pK-Sensing Properties of K and Al Coimplanted SiO<sub>2</sub> Thin Films

金 炳 秀\* · 申 白 均\*\* · 李 鵬 周\*\*\* · 李 德 出<sup>§</sup>  
(Byung-Soo Kim · Paik-Kyun Shin · Boong-Joo Lee · Duck-Chool Lee)

**Abstract** - Silicon dioxide (SiO<sub>2</sub>) layers were fabricated on Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si layer structures by low pressure chemical vapor deposition (LPCVD). Potassium and aluminum were then coimplanted by implanting potassium ions with the energy of 100 [keV] and dose of  $5 \times 10^{16}$  [cm<sup>-2</sup>] and  $1 \times 10^{17}$  [cm<sup>-2</sup>] into an aluminum buffer layer on the SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/SiO<sub>2</sub>/Si structure. The pH, pNa, and pK ion sensitivities of the resulting layers were investigated and compared to those of as-deposited silicon dioxide layer. The pK-sensitivity of the silicon dioxide was enhanced by the K and Al coimplantation. On the contrary, the pH and pNa-sensitivities of the coimplanted silicon dioxides were quite lower than that of the as-deposited silicon dioxide.

**Key Words** : silicon dioxide, LPCVD, ion implantation, ion sensitivity, ISFET

### 1. 서 론

1972년 Bergveld가 기존의 이온감지 전극(Ion Sensitive Electrode: 이하 ISE라 함)의 감지 멤브레인을 MISFET (Metal Insulator Semiconductor Field-Effect Transistor)의 게이트 층에 바로 제작하는 이온감지 전계효과 트랜지스터 (Ion-Sensitive Field-Effect Transistor: 이하 ISFET이라 함)를 처음으로 발표한 바 있다<sup>[1]</sup>. ISFET은 FET의 임피던스 변환특성을 응용한 FET 화학센서 (Chemically Modified Field-Effect Transistor: CHEMFET)의 일종으로서 초경량이고, 임피던스 값이 낮으며 응답속도가 매우 빠른 장점을 갖고 있다<sup>[2]</sup>. 더욱이 최근 눈부시게 발전하고 있는 집적 반도체 기술과 MEMS 기술들을 이용하여 하나의 소자 안에 다수의 ISFET 들을 집적시킴으로써 동시에 여러 이온들의 농도를 감지 및 계측하는 것이 가능하다<sup>[3-4]</sup>. 이러한 ISFET 및 Muli-ISFET 센서들은 기존의 ISE에 비해 제작단가가 현저히 비싼 반면, 극미량의 측정 샘플만을 필요로 하는 장점이 있으며 기준전극, 센서신호처리 회로부 등을 하나의 모듈로 집적화하는 것이 가능하므로, 바이오 및 의료용 분석 등에 더 적합하다.

다양한 이온의 농도를 감지하는 ISFET 센서중 전해질 용액 혹은 체액 등의 pH 농도를 감지하는 pH-ISFET용 감지층은 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>[5]</sup>, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub><sup>[6,7]</sup>, Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub><sup>[8,9]</sup> 등이 연구보고 된 바 있

으며, 실용화 단계로까지 개발된 실정이다. 또한, 이러한 pH-ISFET을 트랜스듀서로 응용하여 pH 감지막에 바이오 감지막을 제작하여 효소, 면역체 등의 농도를 감지하는 바이오센서의 개발도 활발히 진행되고 있다. 그러나 이러한 pH-ISFET과 하나의 소자에 같이 집적될 수 있는 pNa 및 pK 농도감지용 ISFET의 감지막 분야에서는 아직도 많은 연구가 필요한 실정이다. 전해질 용액중의 알칼리 금속이온 농도를 측정하기 위한 감지막은 기존의 ISE의 감지층을 응용하여 ISFET 소자에 적용하는 추세이며, 주로 알칼리 금속과 알루미늄실리케이트(Aluminosilicate)가 합성된 알칼리 알루미늄실리케이트가 개발되고 있다. Eisenman은 알칼리 알루미늄실리케이트의 pNa 및 pK 감지도 및 선택성을 감지 멤브레인에 함유된 알칼리 금속이온과 알루미늄 이온의 성분비로 기술한 이론을 보고한 바 있으며<sup>[10]</sup>, 현재 실리콘 디옥사이드에 Na 혹은 K등의 알칼리 금속과 Al을 이종이온주입시켜 알칼리 금속이온 감지층을 제작하는 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[11-15]</sup>. 하지만 국내에서는 아직까지 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 pNa 및 pK-ISFET에 적용될 감지막을 개발하기 위해 LPCVD로 제작된 실리콘 디옥사이드에 K 및 Al을 이종이온주입시킴으로써, 칼륨-알루미늄실리케이트 (Kalium-Aluminosilicate) 층을 제작하여 그 pH, pNa 및 pK 감지성능을 조사하였다. 이온감지성능의 조사는 위에 언급한 시료샘플이 전해질 용액과 접촉되는 전해질-절연층-실리콘(Electrolyte-Isolator-Silicon: 이하 EIS라 함) 구조의 C-V 특성을 측정함으로써 조사하였다. 이온주입이 되지 않은 실리콘 디옥사이드와 K과 Al이 이종이온주입된 실리콘 디옥사이드의 특성을 비교분석함으로써 이종이온주입에 의한 실리콘 디옥사이드의 pH, pNa 및 pK 감지특성의 변화를 조사하였다.

\* 正 會 員 : 仁 荷 大 차세대고전압기술연구센터 · 博士課程  
\*\* 正 會 員 : Kumamoto Univ. Japan · 工博  
\*\*\* 正 會 員 : ACROSENS Co. ltd 責任研究員 工博  
<sup>§</sup> 正 會 員 : 仁 荷 大 電氣工學科 教授 · 工博  
接受日字 : 2003年 2月 25日  
最終完了 : 2003年 5月 20日

2. 실험

2.1 시편제작

먼저 p형 (100) 4~6[Ω·cm] 실리콘 웨이퍼 위에 1000℃에서 건식산화법(Centrotherm, 獨逸)을 이용하여 50[nm] 두께의 SiO<sub>2</sub> 층을 제작하고, 그 위에 LPCVD 법(ASM, 和蘭)으로 100[nm] 두께의 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 층을 제작했다. Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 층은 주입되는 이온들이 하부의 게이트 SiO<sub>2</sub> 층으로 침투하는 것을 막기 위한 이온장벽(Ion Barrier)의 역할을 한다. 다음에 LPCVD 법(ASM, 和蘭)으로 50[nm] 두께의 SiO<sub>2</sub> 층을 제작하고, 그 위에 진공증착법으로 100[nm] 두께의 Al 층을 제작하였다. Al 층은 고에너지로 주입되는 K 이온의 충돌에 의해 그 내부의 Al도 같이 하부의 SiO<sub>2</sub> 층으로 주입되는 이른바 "knock-on" 효과를 위한 일종의 버퍼(Buffer) 층이다<sup>[13]</sup>. 또한, Al 버퍼층은 고에너지 및 높은 주입량의 이온주입에 의한 SiO<sub>2</sub> 층의 심한 물리적 및 전기적 손상의 발생을 최소화하는 한편, 이온주입 후 필요한 열처리 과정에서 가능한 한 낮은 온도에서 열처리되게 함으로써, 주입된 이온의 열확산으로 인한 소자의 고장을 방지하기 위한 역할을 겸한다. 표1에 SiO<sub>2</sub> 및 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>층의 LPCVD 제작공정의 조건을 요약하였다.

표 1 SiO<sub>2</sub> 및 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 층의 LPCVD의 공정조건  
Table 1 Process parameters at LPCVD of SiO<sub>2</sub> and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>

|                                | Temp. [°C] | Pressure [mTorr] | SiCl <sub>2</sub> H <sub>2</sub> [l/min] | N <sub>2</sub> O [l/min] | NH <sub>3</sub> [l/min] |
|--------------------------------|------------|------------------|--|--------------------------|-------------------------|
| SiO <sub>2</sub>               | 910        | 400              | 0.05                                     | 0.2                      |                         |
| Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> | 700        | 250              | 0.06                                     |                          | 0.2                     |

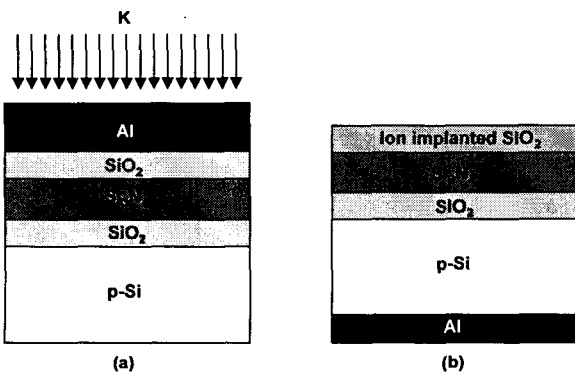


그림 1 이온주입공정중인 Al/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si 구조(a)와 이온주입된 최종 시편의 단면도(b)

Fig. 1 Cross-section of the Al/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si structure during ion implantation (a) and ion implanted resulting test structures (b).

이제 Al/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si 구조 위에 100 keV의 에너지와 5×10<sup>16</sup>[cm<sup>-2</sup>] 및 1×10<sup>17</sup>[cm<sup>-2</sup>]의 주입량으로 K 이온을 주입시킴으로써 SiO<sub>2</sub> 층에 K 및 Al을 이중이온주입시켰다(Varian, 美國). 이온주입 후에 Al 버퍼층을 습식식각을 통

해 제거하고, 이온주입에 의한 손상을 복구시키기 위해 600[°C], N<sub>2</sub> 분위기에서 30분간 열처리(Thermco, 獨逸)를 하였다. 마지막으로 실리콘 웨이퍼의 뒷면에 500[nm]의 Al층을 진공증착하여 하부전극을 제작하였다. 그림1에 K 이온주입공정의 타겟인 Al/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si 구조(a) 및 최종 완성시편인 이중이온주입된, SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si/Al 구조(b)의 단면도를 나타냈다. 완성된 시편은 각 10mm×10mm 크기로 측정에 사용되었다.

2.2 C-V 특성측정

본 연구에서는 10[mm]×10[mm]로 절단된 시편을 Plexiglass로 자체 제작된 측정용 셀(Measuring Cell)에 시편을 장착한 후에 완충 전해질 용액(buffer electrolyte liquid)을 주입하고, 기준전극(Reference Electrode: Ag/AgCl/3M KCl, Ingold, 獨逸)으로 전압을 인가하여 pH, pK, pNa 적정을 수행하면서 C-V 특성변화를 조사하였다. pH 특성 조사용 완충 전해질 용액은 0.5M KCl 용액에 0.01M Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>/KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> 용액을 첨가하여 제작하였으며, pNa 및 pK 특성 조사용 완충 전해질 용액은 0.1M Tris-HCl 용액에 1M Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 용액을 첨가하여 제작하였다.

측정 전해질 용액의 pH 값은 1M HCl 및 1M KOH 용액을 마이크로펍프를 사용하여 미량을 흘려주면서 외부 pH-유리전극(Glass Electrode: Schott, 獨逸)으로 현재 pH 값을 모니터링 하면서 변화시켰다. pH 적정은 pH 3에서 pH 11로 0.5 pH 값 단위로 수행하였다. 측정 전해질 용액의 pNa 및 pK 값은 완충 전해질용액에 1M NaCl 혹은 1M KCl을 첨가한 용액을 마련한 후, 마이크로펍프(Micropipett)으로 미리 계산된 양을 주입하면서 변화시켰다. pNa 및 pK 적정은 1 pNa(pK) 단위로 pNa(pK) 5→pNa(pK) 1로 변화시키면서 수행하였다.

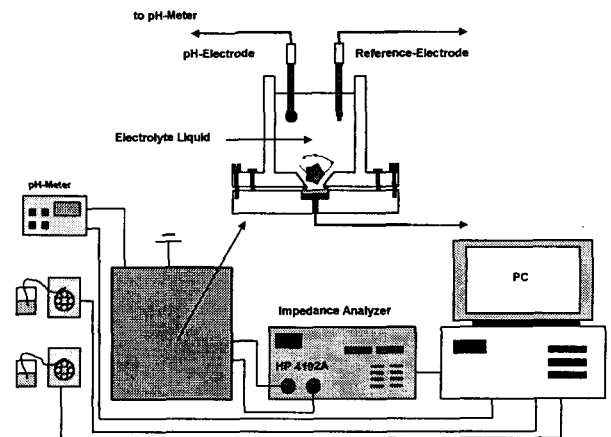


그림 2 시편의 pH, pNa 및 pK 감지특성을 조사하기 위한 측정용 셀 및 측정시스템

Fig. 2 A schematic diagram of the measuring cell and measurement system for the investigation of pH-, pNa-, and pK-sensing properties of the test samples.

C-V 측정은 기준전극을 통해 임피던스 측정장치(HP4192A)로 1[kHz]의 주파수, 20[mV]의 진폭의 신호를

가하여 수행했다. 먼저 C-V 곡선에서 정전용량의 기울기가 가장 큰 부근에서 동작점을 선정하고, 측정용액중의 이온농도 값이 변화함에 따라 C-V 곡선이 수평으로 변위할 때, 동작 정전용량치를 찾기 위해 기준전극에 가해지는 전압변화치를 모니터링 함으로써, 측정시편의 이온농도 감지특성을 조사하였다. 이러한 모든 과정은 PC(HP Vectra)와 주변기기를 사용하고 자체 제작한 프로그램을 이용하여 수행되었다. 그림 2에 측정에 사용된 측정용 셀 및 측정시스템의 개략도를 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

그림 3에 증착된 SiO<sub>2</sub>(시편 1)와 이중이온주입된 SiO<sub>2</sub> 박막(시편2, 3)들의 pH3~pH11 범위에서의 pH 감지특성 곡선이 나와있다. 증착된 SiO<sub>2</sub>가 평균 30.57 [mV/pH] 의 감지도를 보이는 반면 이중이온 주입된 두 가지 시편은 모두 현저히 저하된 pH 감지도를 보이고 있다. 이중이온주입된 시편 중에서는 K의 주입량이 5×10<sup>16</sup> [cm<sup>-2</sup>]인 시편(시편2)이 평균 16.58 [mV/pH] 의 pH 감지도를 보이고, 주입량이 1×10<sup>17</sup> [cm<sup>-2</sup>]인 시편(시편3)은 이보다 훨씬 저하된 평균 2.89 [mV/pH] pH 감지도를 보이고 있다. 따라서, K 및 Al의 이중이온주입에 의해 SiO<sub>2</sub> 박막의 pH 감지도가 현저히 감소되었으며, 그 감소되는 정도는 주입량이 많을수록 더 큼을 알 수 있다.

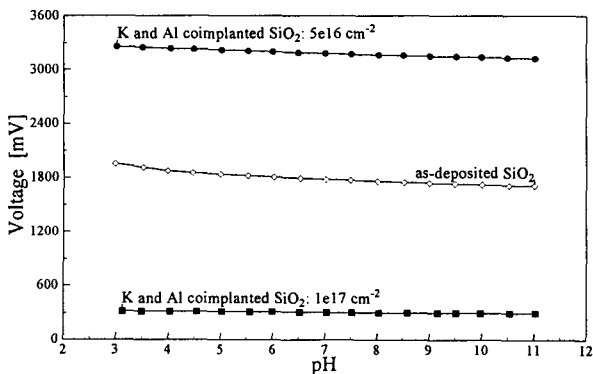


그림 3 증착된 SiO<sub>2</sub> 및 K와 Al이 이중이온주입된 SiO<sub>2</sub> 박막의 pH 감지특성  
 Fig. 3 The pH-sensing properties of as-deposited and K and Al coimplanted SiO<sub>2</sub>

그림 4와 5에는 증착된 SiO<sub>2</sub>와 이중이온주입된 SiO<sub>2</sub> 박막의 pNa와 pK가 1~5 구간에서의 pNa 및 pK 감지특성 곡선이 각각 나와 있다. 그림 4와 5에서 볼 수 있는 것처럼, SiO<sub>2</sub> 박막의 pNa 및 pK 감지도 역시 K 및 Al 이중이온주입에 의해 변화되었음을 볼 수 있다. 그림 4에 나온 pNa 감지도의 경우, 증착된 SiO<sub>2</sub>의 pNa 감지도가 이중이온주입된 SiO<sub>2</sub> 시편들 보다 약간 크며, 그림3의 pH 감지도의 경우와 마찬가지로 K의 이온 주입량에 커질수록 pNa 감지도도 감소됨을 알 수 있다. 하지만, 증착된 SiO<sub>2</sub>와 비교해서 큰 차이를 보이지는 않는다. 그림 5에 나온 pK 감지도의 경우에는 이와 반대로 이중이온주입에 의해 SiO<sub>2</sub> 박막의 pK 감지도가 증가되었으며, 그 증가되는 정도는 K 이온 주입량이

클수록 더 크다. 또한, 이중이온주입에 의해 변화된 pK 감지도의 폭이 pNa 감지도의 경우와 비교해서 현저히 큼을 알 수 있다. 표 2에 순수한 SiO<sub>2</sub>와 K 및 Al이 주입된 SiO<sub>2</sub>의 측정된 농도범위에서의 평균 pH, pNa 및 pK 감지도가 요약되어 있다.

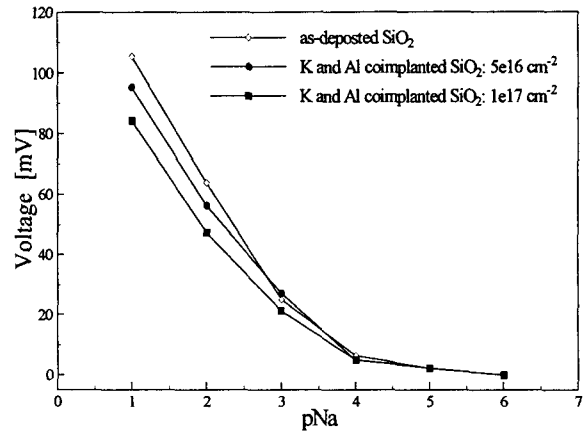


그림 4 증착된 SiO<sub>2</sub> 및 K와 Al이 이중이온주입된 SiO<sub>2</sub> 박막의 pNa 감지특성  
 Fig. 4 The pNa-sensing properties of as-deposited and K and Al coimplanted SiO<sub>2</sub>

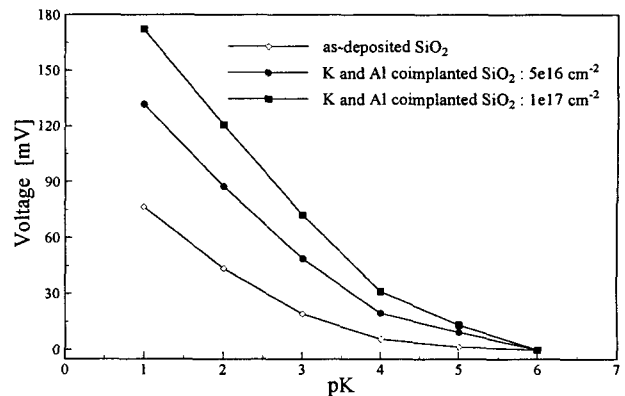


그림 5 증착된 SiO<sub>2</sub> 및 K와 Al이 이중이온주입된 SiO<sub>2</sub> 박막의 pK 감지특성  
 Fig. 5 The pK-sensing properties of as-deposited and K-Al coimplanted SiO<sub>2</sub> thin films

표2에서 볼 수 있는 바와 같이 LPCVD로 증착된 SiO<sub>2</sub> 박막은 pH농도 감지성이 pNa 및 pK 농도 감지도보다 비교적 컸으나, K 및 Al이 주입됨에 따라 그 pH 및 pNa 감지도가 감소되고, pK 감지도가 증가되었다. 또한 K이온의 주입량이 5×10<sup>16</sup> [cm<sup>-2</sup>] 인 경우에는 SiO<sub>2</sub>의 pH, pNa 및 pK 감지도가 이온 주입전과 유사한 경향을 보였으나, K이온이 주입량이 1×10<sup>17</sup> [cm<sup>-2</sup>]으로 더 많은 경우 그 경향이 역전되어 SiO<sub>2</sub>의 pH 감지도는 pNa 및 pK 감지도보다 현저히 작았으며, pK 감지도가 가장 큰 결과를 보였다. 한편, 순수한 SiO<sub>2</sub>의 이온감지특성은 반경이 작은 양이온(H<sup>+</sup>)에 더 민감한 경향을 보였으나, K 및 Al을 주입함으로써 반경이 큰 양이온(K<sup>+</sup>)에 민감한 특성을 보이는 것으로 변화하였다. 감지막의 용

액중 이온에 대한 감지도를 상대적으로 비교하면, 그 중 특정한 이온에 대한 선택성을 간접적으로 판별할 수 있다. 그러므로 K 및 Al이 더 많이 주입된 시편3은 pK 농도에 더 큰 선택성을 보인다고 할 수 있다.

표 2 증착된 SiO<sub>2</sub> 및 K와 Al이 이중이온주입된 SiO<sub>2</sub> 박막의 평균 pH, pNa, pK 감지도  
Table 2 Average pH-, pNa-, and pK-sensitivities of as-deposited and coimplanted SiO<sub>2</sub>

|   | pH-sensitivity<br>pH3 → pH11<br>[mV/pH] | pNa-sensitivity<br>pNa5 → pNa1<br>[mV/pNa] | pK-sensitivity<br>pK5 → pK1<br>[mV/pK] |
|---|---|--|--|
| as-deposited SiO <sub>2</sub>   | 30.57                                   | 21.07                                      | 15.33                                  |
| K and Al<br>coimplanted SiO <sub>2</sub><br>K dose =<br>5 × 10 <sup>16</sup> cm <sup>-2</sup> | 16.58                                   | 19.06                                      | 26.34                                  |
| K and Al<br>coimplanted SiO <sub>2</sub><br>K dose =<br>1 × 10 <sup>17</sup> cm <sup>-2</sup> | 2.89                                    | 16.85                                      | 34.45                                  |

SiO<sub>2</sub>에 Al 및 알칼리 금속이온(Na 및 K)을 이중이온주입시켜 그 pH, pNa, pK 감지도 변화를 조사한 연구결과들이 보고된 바 있으며, 그 pNa 및 pK 감지도는 10<sup>-3</sup>~10<sup>-1</sup>M의 농도범위, 즉 pNa(pK)=3~1 범위에서 50~55 [mV/dec] 수준이었다<sup>[12,13]</sup>. 위에 기술한 본 연구의 알칼리 금속이온감지도는 이보다 더 넓은 pNa(pK)=5~1의 범위에서의 측정결과이므로, 같은 이온농도 범위에서 K 및 Al이 이중이온주입된 SiO<sub>2</sub>의 pNa 및 pK 농도감지도를 조사하였다. 주입량이 더 많은 K 및 Al이 주입된 SiO<sub>2</sub> 시편 3의 pNa 및 pK 감지도는 각각 32.52 [mV/pNa]와 49.98 [mV/pK]. SiO<sub>2</sub> 시편 3의 pK 농도감지도는 보고된 참고문헌의 연구결과에 근접한 결과이다. 이온센서의 실용화 측면에서 볼 때 더 중요한 요인은 특정 이온에 대한 감지도의 크기보다는 측정샘플 내에 포함되어 있는 다른 이온들에 대한 선택성이다. K 및 Al이 주입된 SiO<sub>2</sub> 시편3의 pH 감지도는 2.89 [mV/pH] 로 무시할 만한 수준이나, 그 pNa 감지도는 35.52 [mV/pNa] 로 49.98 [mV/pK]의 pK 감지도보다는 작지만, 실용화를 위한 선택성 요구수준에는 아직 미치지 못하는 수준이다.

이온주입에 의해 무기박막의 이온감지성을 조절하기 위한 제작방법에서의 주입량은 보통 1 × 10<sup>16</sup> cm<sup>-2</sup> 이상이며, 이는 일반 반도체 소자제작의 도핑공정 등에서의 주입량(1 × 10<sup>14</sup> cm<sup>-2</sup> 이하)보다 월등히 많으므로, 이러한 다량의 이온주입에 의한 기관의 손상은 매우 크다. SiO<sub>2</sub>에 알칼리 금속(Na 및 K 등)과 Al을 각기 따로 이온주입시키는 방법<sup>[11,12]</sup>은 주입량 및 주입에너지의 조절에 의한 감지도나 선택성의 조절 면에서 볼 때 상대적으로 용이하지만, 이중이온주입에 의한 기관의 물리적 및 전기적 손상과 이를 복구하기 위한 열처리과정에서의 문제점 등을 고려하면, Al을 버퍼층으로 하고 Na 혹은 K를 이온주입시켜 SiO<sub>2</sub>에 알칼리 금속과 Al을 주입하는 방법이 소자의 안정성 면에서 볼 때 보다 나은 방법이라 하겠다<sup>[13]</sup>. 따라서, SiO<sub>2</sub>에 K 및 Al을 주입시켜 pK 선택성이 보다 우수한 칼륨-알루미늄노실리케이트 박막을 제작

하기 위해서는 Al 버퍼층의 두께, K 이온의 주입량 및 주입 에너지등의 파라미터를 체계적으로 변화시키는 등의 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

### 3. 결 론

Al 버퍼층을 통해 K 이온을 주입시킴으로써 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 이온장벽층 위에 LPCVD로 증착된 SiO<sub>2</sub>층의 pH, pNa 및 pK 감지도를 변화시킬 수 있었다. 이온주입 전의 SiO<sub>2</sub> 층의 이온감지도는 알칼리이온농도보다 pH 농도에 더 민감한 경향을 보였으나, SiO<sub>2</sub>에 5 × 10<sup>16</sup> [cm<sup>-2</sup>] 및 1 × 10<sup>17</sup> [cm<sup>-2</sup>]으로 K를 주입시킴에 따라, pH 및 pNa 농도에 대한 감지도가 감소하고 pK 농도에 더 민감한 경향으로 변화되었다. 또한 K 이온의 주입량을 변화시킴으로써 SiO<sub>2</sub>층의 이온감지도를 변화시킬 수 있음이 확인되었다.

이온주입된 두 가지 SiO<sub>2</sub> 시편 중 더 많은 이온이 주입된 시편은 pH 3~pH 11의 범위에서 2.89 [mV/pH], pNa 1~pNa 3의 범위에서 35.52 [mV/pH], pK 1~pK 3의 범위에서 49.98 [mV/pK]의 이온감지성을 보였다. 이온주입이 더 많이 된 SiO<sub>2</sub> 시편은 측정용액중 pH 농도에 대해서는 월등한 선택성을 보였으나, pNa 및 pK 농도중 양자에 대한 선택성은 실용화가 가능한 수준에 미치지 못하였다. 따라서, Al 버퍼층의 두께나 이온주입 공정중의 파라미터를 폭넓게 변화시켜 보다 우수한 선택성을 얻기 위한 후속 연구가 필요하다.

### 참 고 문 헌

- [1] P. Bergveld, "Development, operation, and application of the Ion-Sensitive Field-Effect Transistor as a tool for electrophysiology", IEEE Trans. Biomed. Eng. Vol. 19, No.5, pp.342-351, 1972
- [2] 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, B88, pp.1-20, 2003
- [3] T. Kuriyama and J. Kimura, "Integrated multibiosensors fabricated on SOS chip", Chemical Sensor Technology, Vol.2, Elsevier Amsterdam-Oxford-New York-Tokyo, pp.191-204, 1988
- [4] Yu.G. Mourzina, J. Schubert, W. Zander, A. Legin, Yu.G. Vlasov, H. Lueth, M.J. Schoening, "Development of multisensor systems based on chalcogenide thin film chemical sensors for the simultaneous multicomponent analysis of metal ions in complex solutions", Electrochimica Acta, Vol.47, pp.251-258, 2001
- [5] A. Ismail, T. Harada, T. Yoshinobu, H. Iwasaki, M.J. Schoening, H. Lueth, "Investigation of pulsed laser-deposited Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as a high pH-sensitive layer for LAPS-based biosensing applications", Sensors and Actuators, B71, pp.169-172, 2000
- [6] L. Bousse, D. Hafeman, and N. Tran, "Time-dependance of the chemical response of silicon nitride

- surfaces", *Sensors and Actuators*, B1, pp.361-367, 1990
- [7] K.-M. Chen, G.-H. Li, L.-X. Chen, and Y. Zhu, "Improvement of structural instabilities of the ion-sensitive field-effect transistor (ISFET)", *Sensors and Actuators*, B13-14, pp.209-211, 1993
- [8] T. Mikolajick, R. Kuehnhold, and H. Ryssel, "The pH-sensing properties of tantalum pentoxide films fabricated by metal organic low pressure chemical vapor deposition", *Sensors and Actuators*, B44, pp.262-267, 1997
- [9] A.S. Poggosian, "The super-ernstian pH Sensitivity of Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-Gate ISFETs", *Sensors and Actuators*, B7, pp.367-370, 1992
- [10] G. Eisenman, "Glass electrodes for hydrogen and other cations", Marcel Dekker INC., New York, 1967
- [11] M.T. Pham and W. Hoffmann, "Ion-sensitive membranes fabricated by the ion-beam technique", *Sensors and Actuators*, 5, pp.217-228, 1984
- [12] M.T. Pham, "Characterization of ion-implanted gate insulator films for use as ion-selective membrane in ISFETs", *Sensors and Actuators*, A7, pp.576-579, 1992
- [13] T. Ito, H. Inagaki, and I. Igarashi, "ISFETs with the ion-sensitive membranes fabricated by ion implantation", *IEEE Trans. on Electron Devices*, Vol.35, No.1, pp.56-64, 1988
- [14] B. Hajji, P. Temple-Boyer, J. Launay, T. do Conto, A. Martinez, "pH, pK and pNa detection properties of SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ISFET chemical sensors", *Microelectronics Reliability*, 40, pp.783-786, 2000
- [15] A. Errachid, J. Bausells, N.Zine, H. Jaffrezic, C. Martelet, N. Jaffrezic-Renault, M. Charbonnier, "Analytical features of K<sup>+</sup>-sensitive membrane obtained by implantation in silicon dioxide films", *Materials Science and Engineering*, C21, pp.9-13, 2002

## 저 자 소 개



### 김 병 수 (金 昉 秀)

1969년 7월 12일생. 1993년 인하대 전기공학과 졸업(공학사), 1998년 동대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 현재 동대학원 전기과 박사과정

Tel. 016-784-8601, 032)860-7393

E-mail. drkbs@hanmail.net



### 신 백 군 (申 白 均)

1967년 1월 16일생. 1990년 인하대 전기공학과 졸업(공학사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2000년 독일 Erlangen-Nuremberg 대학원 전기전자공학부 졸업(공학박사) 1993-2000년 독일 Fraunhofer Institute of Integrated

Systems and Device Technology 연구원. 2001-2002년 (주)아크로센스 센서기술연구소 책임연구원. 현재 일본 Kumamoto University 전기시스템공학부 객원연구원.

Tel) (031)307-6630 Fax) (032)232-0123

E-mail: father@shinla-family.org



### 이 봉 주 (李 鵬 周)

1973년 4월 16일생. 1996년 인하대 전기공학과 졸업(공학사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2003년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사) 현재 (주)아크로센스 센서기술연구소 책임연구원

Tel : 032)860-7393 Fax : 032)863-5822

E-mail : aprilb@empal.com



### 이 덕 출 (李 德 出)

1939년 1월 22일생. 1963년 인하대 전기공학과 졸업(공학사). 1966년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 1976년 나고야 대학교 전기공학과 졸업(공학박사).

1996년~1998년 인하대 공대학장/부총장. 현재 인하대 전기·전자공학부 교수

Tel : 032)860-7393

E-mail : leedc@inha.ac.kr