

논문 97-6-3-05

저압화학기상성장법으로 제작된 $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 의 알칼리이온 감지성에 관한 연구

신백균*, 이덕출**

A Study on Alkali Ion-Sensitivity of $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ Fabricated by Low Pressure Chemical Vapor Deposition

P. K. Shin*, D. C. Lee**

요 약

열산화시킨 실리콘 웨이퍼 위에 저압화학기상성장법으로 SiCl_2H_2 , NH_3 및 N_2O 기체를 사용하여 실리콘 옥시나이트라이드($\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$) 층을 제작하였다. 세 가지의 다른 조성이 기체 유속비($\text{NH}_3/\text{N}_2\text{O}$)를 각기 0.2, 0.5 및 2로 변화시키고 SiCl_2H_2 의 기체 유속은 고정시킴으로써 얻어졌다. 엘립소메트리와 HFCV(High Frequency Capacitance-Voltage) 측정법을 채택하여 굴절율, 유전율 및 조성의 차이를 각각 조사했다. 실리콘 옥시나이트라이드는 내부에 포함된 실리콘 나이트라이드 성분량에 관계없이 용액 중에서 순수한 실리콘 나이트라이드와 유사한 안정성을 보였다. 실리콘 옥시나이트라이드 층 알칼리이온 감지성의 크기 순서는 실리콘 나이트라이드 성분량에 영향을 받았다. 보다 나은 알칼리이온 감지성이 실리콘 옥시나이트라이드의 벌크 내에 있는 실리콘 디옥사이드의 성분량을 증가시킴으로써 얻어졌다.

Abstract

Using SiCl_2H_2 , NH_3 and N_2O , we have fabricated silicon oxynitride ($\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$) layers on thermally oxidized silicon wafer by low pressure chemical vapor deposition. Three different compositions were achieved by controlling gas flow ratios($\text{NH}_3/\text{N}_2\text{O}$) to 0.2, 0.5 and 2 with fixed gas flow of SiCl_2H_2 . Ellipsometry and high frequency capacitance-voltage(HFCV) measurements were adapted to investigate the difference of the refractive index, dielectric constant, and composition, respectively. Regardless of nitride content, silicon oxynitrides had similar stability to silicon nitrides. The relative standing of alkali ion sensitivity in silicon oxynitride layers was influenced by nitride content. The better alkali ion-sensitivity was achieved by increasing oxide content in bulk of silicon oxynitrides.

Key Word: ISFETs(Ion-Sensitive Field-Effect-Transistors), silicon oxynitride, LPCVD(Low Pressure Chemical Vapour Deposition), ion implantation, alkali ion-sensitivity

1. 서 론

이온감지 전계효과 트랜지스터(Ion-Sensitive Field-Effect Transistors : 이하 ISFETs라 함)는 용액 중의 이온량을 검출할 수 있는 센서소자로서 주목을 받고 있으며, 이와 관련되는 연구가 날로 증대가 하고 있다^{1) 5)}. 양이온을 감지할 수 있는 ISFETs에 쓰이는 감

* Univ. of Erlangen-Nuernberg(Erlangen, 독일) 전 기공학부

** 인하대학교 전기공학과 (Dept. of Electrical Eng., Inha Univ.)

<접수일자 : 1996년 9월 10일>

지막의 제작법에는 세 가지가 있다^[6]. 첫째로 ISFETs의 게이트 위에 감지막을 성장시키는 방법, 둘째로 게이트 감지막 자체를 화학적으로 그래프팅시키는 것, 그리고 셋째로는 이온을 주입시켜서 게이트 감지막을 개질하는 것이다. ISFETs의 게이트 위에 성장시킨 막은 게이트로부터 분리되는 경향이 있으며, 화학적 그래프팅시킨 감지막은 전해질 용액과 접촉시키면 그 표면이 점차로 열화되어 안정성이 저하되는 결점을 갖고 있다. 그러나 이온을 적절한 에너지로 주입시켜서 개질한 감지막은 장기간에 걸쳐서도 안정된 감지특성을 갖는 장점이 있다^[7].

알칼리이온 감지용 ISFETs의 감지막은 알칼리이온 감지용 유리전극(Glass Electrode)의 멤브레인의 조성^[8]을 고려하면 실리콘 디옥사이드(SiO_2)에 알루미늄과 알칼리 금속이온을 주입시켜 제작할 수 있으며, 이에 의하여 알칼리금속이온 측정용 ISFETs에 쓰일 감지막이 제작된 바 있다^[9-11]. 그러나 실리콘 디옥사이드는 액체와 접촉될 때, 액체 중의 이온이 내부로 쉽게 확산되어가는 경향이 있기 때문에 장시간 사용할 때에 감지특성이 불안정한 결점이 있다. 한편, 기존의 반도체 공정에 사용되는 물질 중에서 우수한 확산방지막인 실리콘 나이트라이드(Si_3N_4)는 용액 중에서 월등한 안정성을 보이지만, 이온을 주입시켜도 감지도의 개선이 미미하다. 이러한 개개의 특성을 고려하여 실리콘 디옥사이드와 실리콘 나이트라이드가 함께 들어 있는 실리콘 옥시나이트라이드($\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$)에 이온을 주입하여 표면을 개질시키면 우수한 감지성과 안정성을 동시에 나타내는 알칼리이온 측정용 감지막을 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

따라서, 본 논문에서는 열산화시킨 실리콘 웨이퍼 위에 저압화학기상성장(Low Pressure Chemical Vapor Deposition. 이하 LPCVD라 함)시킬 때에 파라미터를 변화시키면서 물성이 다른 세 가지 실리콘 옥시나이트라이드 막을 제작하고, 그 물성의 차이, 알칼리 이온감지특성 및 안정성을 조사하였다.

II. 시편제작

세척한 <100>방향 p형의 4인치 실리콘 웨이퍼(CZ 4-6 $\Omega \cdot \text{cm}$)에 열산화막을 950 $^\circ\text{C}$ 에서 50 nm 성장시킨(Centrotherm, 獨逸) 다음, LPCVD법으로 세 가지의 서로 다른 실리콘 옥시나이트라이드 막을 90 nm 두께

로 성장시켰다. LPCVD법으로 실리콘 디옥사이드와 실리콘 나이트라이드를 성장시킬 때에 사용되는 기체^[12]를 고려하여 SiCl_2H_2 , N_2O 및 NH_3 를 반응기체로 사용하였으며, 반응로(ASM, 和蘭) 내의 압력은 350 m torr, 온도는 850 $^\circ\text{C}$ 였다. 실리콘 디옥사이드(High Temperature Oxide: 이하 HTO라 함)와 실리콘 나이트라이드에 모두 사용되는 SiCl_2H_2 기체의 유속은 0.04 l/min로 고정시키고, N_2O 및 NH_3 의 유속을 변화시켰다. 표 1에 LPCVD법으로 실리콘 옥시나이트라이드를 성장시킬 때의 NH_3 와 N_2O 의 유속과 두 기체의 유속비를 기술하였다.

표 1. LPCVD시의 NH_3 및 N_2O 기체의 유속
Table 1. The gas flow rate of NH_3 and N_2O at LPCVD

	NH_3 [l/min]	N_2O [l/min]	$\text{NH}_3/\text{N}_2\text{O}$
$\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 1 (sample 1)	0.03	0.15	0.2
$\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 2 (sample 2)	0.06	0.12	0.5
$\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 3 (sample 3)	0.12	0.06	2

알칼리이온 감지특성 및 유전율을 측정하기 위하여 웨이퍼 뒷면에는 알루미늄을 진공증착시켜서 하부 전극을 형성하였으며, 유전율을 HFCV(High-Frequency Capacitance-Voltage:하 HFCV라 함) 측정법으로 조사하고자 하는 시편은 별도로 상부에 알루미늄 돛(dot)를 증착시켜서 상부전극을 제작하였다.

III. 측 정

1. 물성측정

실리콘 나이트라이드와 실리콘 디옥사이드가 각기 다른 굴절율과 유전율을 가지므로 먼저 spectral ellipsometer(Sopra ES4G, 佛蘭西)로 각 시편의 굴절율을 측정하였고, HP 4280A, HP Vectra PC등으로 구성된 HFCV 시스템에서 측정된 정전용량값으로부터 유전율을 계산하였다. 시편의 제작공정시에 막 특성이 웨이퍼 위의 각 부위마다 차이가 있을 수 있음을 감안하여 굴절율 측정시에는 웨이퍼 위에 고르게 지정한 16 점을, 그리고 HFCV 측정시에는 10점을 측정하여 그

평균치를 취하였다.

시편의 조성은 spectral ellipsometer로 실리콘 옥시 나이트라이드 내부에 포함된 실리콘 디옥사이드 및 실리콘 나이트라이드의 체적분율을 측정하여 조사했다. 또한, 실리콘 디옥사이드의 식각에 사용되는 플루오르화 암모늄 에칭액으로 각 시편을 식각하여 식각율(nm/min)의 차이를 조사하였다.

2. 알칼리이온 감지특성

금속-절연물-실리콘(Metal-Insulator-Silicon : 이하 MIS라 함) 구조의 여러 가지 특성이 C-V 특성을 조사함으로써 검사될 수 있는 것과 마찬가지로, 전해질-절연막-실리콘(Electrolyte-Insulator-Silicon:이하 EIS라 함) 구조의 특성도 C-V 특성을 조사함으로써 조사될 수 있다^[13]. 측정 시스템은 HP 4192A, 기준전극(Ingold, 獨逸), pH 전극(Schott, 獨逸), HP Vectra PC 등으로 구성된다.

먼저 세 가지 실리콘 옥시나이트라이드의 시료를 감지막으로 하는 EIS 구조의 C(세로축)-V(가로축) 특성을 측정하여 세로축의 기울기가 가장 큰 곳의 정전용량을 동작 정전용량으로 설정했다. 전해질 용액 중의 알칼리 이온농도가 변화함에 따라 C-V 곡선이 변위할 때, 동작 정전용량치를 찾기 위해 기준전극에 가해지는 전압변화치의 음의 값을 이용하여 Na, K, Rb, Cs에 대한 감지특성을 측정하였다.

시편의 이온감지특성을 측정하기 전에 먼저 시편을 pH=8의 트리스(Tris)^[14] 완충용액과 접촉시키고, 바이어스를 걸어준 상태에서 12시간 동안 유지하여 그 전해질과 감지층의 계면이 전기화학적으로 안정한 상태로 되도록 한 후, 전압이 평탄해지는 것을 조사함으로써(그림1) 시편의 안정성을 검사하였다. 검사용액은 1M의 NaCl, KCl, RbCl, CsCl 용액의 일정량을 마이크로 피펫을 사용하여 완충용액에 투입함으로써 $10^{-5} \sim 10^{-1}$ M의 범위에서 알칼리이온농도를 갖도록 하였으며, 상용 pH 전극(Schott社, 獨逸)을 사용하여 용액의 pH를 측정하여 감지도가 오직 알칼리이온 농도변화에만 의존하는지를 확인하였다. 또한, HTO 및 실리콘 나이트라이드를 감지막으로 하는 EIS 구조에 대해서도 같은 실험을 하여 실리콘 옥시나이트라이드의 EIS 구조로 측정된 알칼리 이온농도 감지특성과 비교할 수 있도록 하였다.

IV. 결과 및 고찰

NH_3 및 N_2O 기체의 유속을 변화시켜서 제작한 세 가지의 실리콘 옥시나이트라이드의 특성을 표 2에 나타내었다.

표 2. $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 의 굴절을 및 그 내부의 SiO_2 및 Si_3N_4 체적분율.

Table 2. The refractive indexes of $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ and the bulk volume percent of SiO_2 and Si_3N_4 .

	refractive index	volume percent [%]	
		SiO_2	Si_3N_4
sample 1	1.65	65.56	34.44
sample 2	1.76	47.03	52.56
sample 3	1.91	33.48	76.52

시편 1은 유속비 $\text{NH}_3/\text{N}_2\text{O}$ 가 0.2인 시료로서 SiO_2 의 굴절율인 1.5에 가까운 1.65의 값을 갖고 있으며, SiO_2 체적분율이 65.56% 였다. 시편 2는 굴절율이 SiO_2 와 $\text{Si}_3\text{N}_4(2.0)$ 의 중간치인 1.76이고, SiO_2 와 Si_3N_4 의 체적분율이 거의 유사했다. 시편 3은 Si_3N_4 에 근접하는 굴절율 값인 1.91을 갖고 있으며, SiO_2 의 체적분율이 33.48%로 세 시편 중에서 가장 작은 값을 가짐을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 특성이 다른 세 가지의 실리콘 옥시나이트라이드가 제작되었음을 확인할 수 있었다. 그리고 HFCV법으로 측정된 정전용량값으로부터 계산된 유전율 값을 비교하면, 시편 1은 4.76, 시편 2는 5.59, 시편 3은 6.46을 나타내어 표 2에 나타난 것과 마찬가지로 경향으로 $\text{SiO}_2(3.9)$ 와 $\text{Si}_3\text{N}_4(7.0)$ 의 중간치에 해당하였다. 따라서 저압화학기상성장시에 다른 파라미터는 고정시키고, 유속비 $\text{NH}_3/\text{N}_2\text{O}$ 만을 변화시킴으로써 실리콘 옥시나이트라이드의 물성을 조절할 수 있음이 확인되었다.

이온감지전극과 마찬가지로 ISFETs용 감지막도 일정한 시간 동안 액체와 접촉시켜서 용액/감지막의 계면에 안정한 전위층이 형성되도록 해야 하며^[15], 안정화되는 시간은 감지물질에 따라 차이가 있다^[16]. 각기 다른 물성을 가진 실리콘 옥시나이트라이드가 실리콘 나이트라이드와 같은 우수한 안정성을 나타내는지 확인하기 위하여 시편을 완충용액과 접촉시킨 상태로 12시간 동안 두고, 동작 정전용량에서 전압이 표류하는 경향을 조사하여 그림 1에 나타내었다.

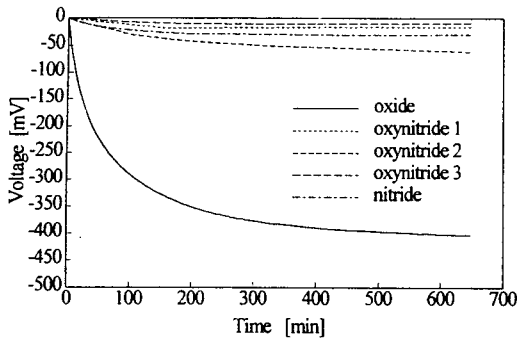


그림 1. 동작점에서 HTO, $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 및 Si_3N_4 의 시간에 따른 전압변화특성
 Fig. 1. The potential variance properties of HTO, $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ and Si_3N_4 at work point

HTO가 초기치로부터 400 mV 하강한 후에 평탄한 값을 나타낸 반면, 세 가지의 실리콘 옥시나이트라이드는 성분 및 물성에 관계없이 실리콘 나이트라이드와 마찬가지로 50 mV 이내로 하강한 후에 평탄한 값을 보였으며, 그 경향도 유사하였다. 따라서 실리콘 나이트라이드 체적분율이 적어도(시편 1) 그 표류경향은 실리콘 나이트라이드를 따름을 알 수 있다. 이것은 실리콘 디옥시드의 식각제인 플루오르화 암모늄 에칭액으로 세 가지 실리콘 옥시나이트라이드를 식각하였을 때에도 마찬가지였다. 실리콘 디옥시드의 식각율이 100 [nm/min] 인데 반하여 실리콘 나이트라이드 성분이 가장 적게 포함된 시편 1은 20.60 [nm/min]로 식각률이 급격히 감소하였으며, 또 시편 2는 10.63 [nm/min], 시편 3은 3.12 [nm/min]이었다. 이로써 실리콘 옥시나이트라이드의 용액 중에서의 안정성은 적은 양의 실리콘 나이트라이드의 조성으로도 현격히 개선됨을 알 수 있다.

그림 2, 3, 4 및 5는 각각 용액 중의 Na, K, Rb 및 Cs 이온농도에 따른 세 가지 실리콘 옥시나이트라이드의 감지특성을 실리콘 디옥시드(HTO) 및 실리콘 나이트라이드와 비교한 것이다.

실리콘 디옥시드의 높은 감지성으로부터 예측할 수 있는 것처럼 실리콘 옥시나이트라이드의 알칼리이온 감지성은 실리콘 디옥시드 성분량에 좌우되었다. 그림 2~5에서 볼 수 있는 바와 같이 Na, K, Rb 및 Cs에 대한 감지도는 모두 실리콘 디옥시드(HTO) > 시편1 > 시편 2 > 시편 3 > 실리콘 나이트라이드의 순이었으며, 실리콘 나이트라이드는 알칼리이온에 대한 감지

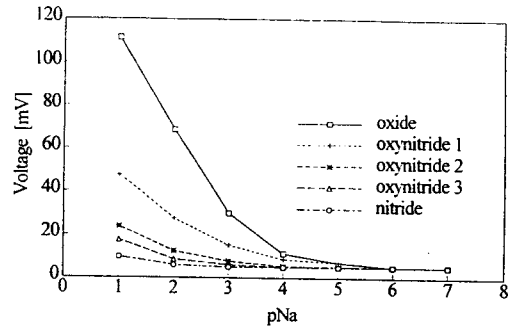


그림 2. HTO, $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 및 Si_3N_4 의 Na^+ 감지특성
 Fig. 2. The Na^+ sensitivities of HTO, $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ and Si_3N_4

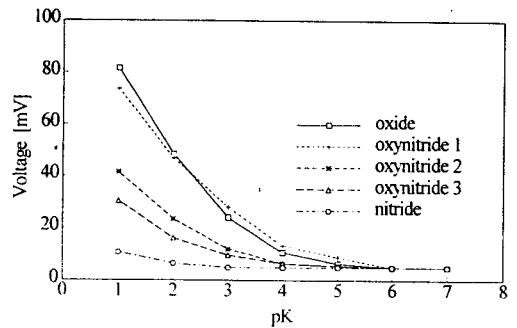


그림 3. HTO, $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 및 Si_3N_4 의 K^+ 감지특성
 Fig. 3. The K^+ sensitivities of HTO, $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ and Si_3N_4

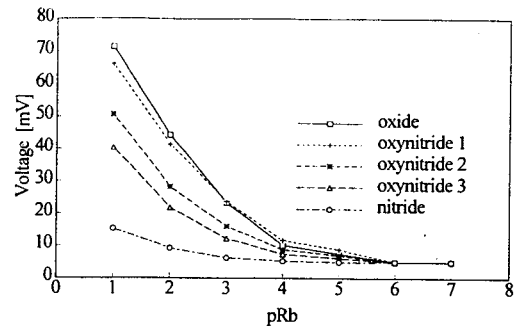


그림 4. HTO, $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 및 Si_3N_4 의 Rb^+ 감지특성
 Fig. 4. The Rb^+ sensitivities of HTO, $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ and Si_3N_4

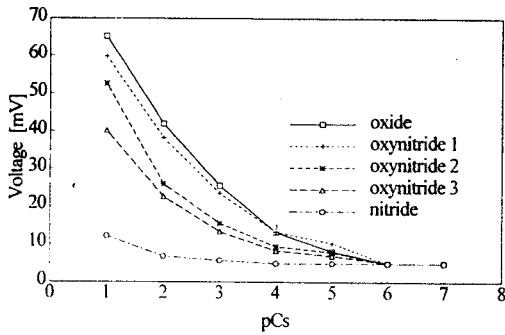


그림 5. HTO, $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 및 Si_3N_4 의 Cs^+ 감지특성
Fig. 5. The Cs^+ sensitivities of HTO, $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ and Si_3N_4

성이 거의 없음을 알 수 있다. 또한 실리콘 옥시나이트라이드의 세 시편 모두 알칼리이온 농도가 10^3 M일 때부터 감지특성이 확연히 나타나기 시작했으며, 농도가 증가될수록 감지도가 커지는 경향을 나타내었다.

또한 실리콘 디옥사이드는 $\text{Na} > \text{K} > \text{Rb} > \text{Cs}$ 이온의 순으로 그 감지도가 좋은 반면, 실리콘 나이트라이드는 $\text{Rb} > \text{Cs} > \text{K} > \text{Na}$ 의 순으로 감지도가 좋았다. 실리콘 옥시나이트라이드의 세 가지 시편은 다른 이온에 대한 감지도 보다 Na 이온에 대한 감지도가 낮았으며, 세 시편 모두가 중간 크기의 이온인 K 및 Rb에 대한 감지성이 다른 이온에 비해 우수했다. 세 가지 시편의 각 알칼리 이온에 대한 감지성의 우열을 표 3에 정리하여 나타내었다.

표 3에 의하면, 실리콘 옥시나이트라이드의 알칼리 이온 감지특성은 순수한 실리콘 나이트라이드 보다 월등히 좋아졌으며, 감지성의 크기는 포함되어 있는 실리콘 디옥사이드 성분량에 비례함을 알 수 있다. 감지할 수 있는 알칼리 이온의 종류는 그 내부에 함유된 실리콘 나이트라이드 성분의 다소에 관계없이 순수한 실리콘 나이트라이드와 유사한 경향을 보인다.

실리콘 옥시나이트라이드에 알루미늄과 알칼리 금속을 주입시키면, 알칼리 알루미늄실리케이트(alkali aluminosilicate)와 실리콘 나이트라이드가 합성된 물질을 제작할 수 있으므로 이온감지성과 용액중에서의 안정성이 조화를 이룬 우수한 감지막을 제작할 수 있을 것이다. 알칼리 알루미늄실리케이트의 알칼리이온 감지성은 포함되어 있는 알칼리이온과 알루미늄이온의 비율에 비례하지만⁸⁾, 알칼리 알루미늄실리케이트가 알칼

리이온 감지성을 나타내기 위해서는 포함되는 SiO_2 의 양이 비교적 커야 할 것이다.

따라서 이온주입에 의해 실리콘 옥시나이트라이드의 알칼리 이온 감지성을 개선할 경우, 비교적 우수한 감지성을 보이는 시편 1이나 2를 선택하는 것이 바람직할 것이다. 또한 주입되는 이온의 종류와 주입량에 변화를 주어 Na 이온의 감지도를 개선할 수도 있겠으나⁹⁾, 실리콘 옥시나이트라이드 자체가 Na 이온 보다 K 이온에 대해 더 큰 감지성을 가지므로 K 이온을 감지할 수 있는 막을 목적으로 이온주입을 하는 것이 더 용이할 것으로 생각된다.

표 3. $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ 의 알칼리 이온에 대한 감지도 차이

Table 3. The difference of alkali ion-sensitivity of $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$

	relative standing of sensitivity
sample 1	$\text{K} > \text{Rb} > \text{Cs} > \text{Na}$
sample 2	$\text{Cs} \approx \text{Rb} > \text{K} > \text{Na}$
sample 3	$\text{Cs} \approx \text{Rb} > \text{K} > \text{Na}$

V. 결 론

LPCVD 공정에서 압력, 온도 및 SiCl_2H_2 유량을 일정하게 하고, NH_3 및 N_2O 기체의 유량만을 변화시킴으로써 실리콘 옥시나이트라이드($\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$) 박막을 제작할 수 있었다. 그리고 NH_3 및 N_2O 의 유량비를 조절함으로써 조성이 다른 세가지 실리콘 옥시나이트라이드를 제작할 수 있으며, 이는 굴절율, 유전율 및 식각율을 측정함으로써 확인할 수 있었다.

실리콘 옥시나이트라이드 내부에 실리콘 나이트라이드 성분이 적게 포함되어도 그 용액 중에서의 안정성은 월등히 개선되었으며, 세가지 시편 모두 실리콘 나이트라이드와 유사한 안정성을 나타내었다.

이와 반대로, 그 내부에 실리콘 디옥사이드 성분이 포함되면, Na, K, Rb 및 Cs 등 알칼리금속이온에 대한 감지성이 실리콘 나이트라이드보다 현격히 개선되었다. 알칼리금속이온에 대한 감지도는 그 내부에 함유된 실리콘 디옥사이드 성분이 많을수록 우수했으며, 감지할 수 있는 이온의 종류는 실리콘 나이트라이드 성분에 의해 더 많은 영향을 받았다.

따라서, 본 연구에 의해 제작된 실리콘 옥시나이트라이드 박막은 실리콘 디옥사이드의 우수한 알칼리이온 감지성과 실리콘 나이트라이드의 탁월한 용액 중에서의 안정성이 결합된 막으로서, 이온 주입에 의해 우수한 알칼리 이온 감지막을 제작하기 위한 기초 기판물질로서 적합하다.

VI. 참고문헌

- [1] P.Bergveld, "Development, Operation, and Application of the Ion-Sensitive Field-Effect Transistor as a Tool for Electrophysiology", IEEE Trans. on Biomedical Eng., Vol. BME-19, No.5, p.342-351, 1972
- [2] J.Janata and R.Huber, "Ion-sensitive Field-Effect Transistors", Ion-Selective Electrode Rev. Vol 1.1, p.31-79, 1979.
- [3] P.Bergveld, "Future Applications of ISFETs", Sensors & Actuators B, 4, p.125 -133, 1991.
- [4] V.Rocher et. al., "Photo-CVD silicon nitride thin layers as pH-sensitive membrane", Sensors & Actuators B, Vol. 18-19, p.342-347, 1994.
- [5] A.S.Pogossian, "The super-Nernstian pH sensitivity of Ta_2O_5 -Gate ISFETs", Sensors & Actuators B, Vol.7, p.367-370, 1992
- [6] P.Clech, "Membranes for Chemical Sensors", Sensors & Actuators B, 4, p.53 -63, 1991.
- [7] H.-S.Wong, Y.Hu and M.H. White, "The Ion Sensitivity of Boron Implanted Silicon Nitride Chemical Sensors", J. Elec.Chem.Soc., Vol. 136, No.10, p.2968-2972, 1989
- [8] G.Eisenman, "Glass Electrodes for Hydrogen and Other Cations", Chapter. 7, Marcel Dekker, 1967.
- [9] M.T.Pham and W.Hoffmann, "Ion-Sensitive Membranes Fabricated by the Ion-Beam Technique", Sensors & Actuators, 5, p.217-228, 1984.
- [10] Y.Sanada, T.Akiyama, Y.Ujihira and E.Niki, "Preparation of Na^+ -Selective Electrodes by Ion-Implantation of Lithium and Silicon into Single-Crystal Alumina Wafer and its Application to the Production of ISFET", Fresenius Z. Anal Chem., 312, p.526-529, 1982.
- [11] T.Ito, H.Inagaki, I.Igarashi, "ISFET's with Ion-Sensitive Membranes Fabricated by Ion Implantation", IEEE Trans. Electron Devices, Vol.ED-35, No.1, p.56-64, 1988.
- [12] S.Wolf and R.N.Tauber, "Silicon Processing for the VLSI Era Volume 1-Process Technology", Chapter 6, Lattice Press, 1986.
- [13] P.Bergveld and A.Sibbald, "Analytical and Biomedical Application of Ion-Sensitive Field-Effect Transistors", Chapter.2, Volume XXII, Elsevier, 1988.
- [14] M.T.Pham, W.Hoffmann and J.Hüller, "Thin Insulator Films Chemically Sensitized by Ion Implantation for Use in ISFETs: Studies on the Drift Effect in NAS Membranes", Sensors and Actuators B, 8, p.227-230, 1992
- [15] K.Camman, "Das Arbeiten mit ionensensitiven Elektroden-Eine Einführung", Chapter 3, Springer Verlag, 1977.
- [16] M.Klein, "Ionensensitiver Feldeffekttransistor mit Natrium-Aluminium-Silikatschicht zur Messung der Na^+ -Ionenkonzentration in wässrigen Lösungen, NTG-Fachberichte 93, VDE-Verlag, p.66-72, 1986.

著 者 紹 介



신백균

1967년 1월 16일생. 1990년 인하대 공대 전기공학과 졸업(공학사), 1992년 인하대 공대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 현재 Univ. of Erlangen-Nuernberg (Erlangen, 獨逸) 전기공학부 박사과정

이택출

『센서학회지 제4권 제3호』 논문 95-4-3-02 p.21 참조
현재 인하대 전기공학과 교수.