

## 제조 조건에 따른 질화탄소막의 습도 감지 특성

이성필<sup>†</sup> · 김정훈 · 이효웅 · 이지공

### Humidity sensing properties of carbon nitride film according to fabrication conditions

Sung Pil Lee<sup>†</sup>, Jung Hoon Kim, Hyo Ung Lee, and Ji Gong Lee

#### Abstract

Carbon nitride films were deposited on various substrates for humidity sensors with meshed electrode by reactive RF magnetron sputtering system. As the ratio of injected nitrogen was decreased, the sensitivity of sensor was increased. When the ratio of injected nitrogen was 50~70 %, the sample showed the best linearity. The sensor impedance changed from 95.4 k $\Omega$  to 2.1 k $\Omega$  in a relative humidity range of 5 % to 95 %. The humidity sensors based on silicon wafer revealed higher linearity and faster response than those of alumina or quartz substrates. The adsorption saturation time of the sample was about 80 sec, and its desorption time was about 90 sec.

**Key Words** : carbon nitride, humidity sensors, surface image, sensing mechanism and thin film

## 1. 서 론

질화탄소막은 다이아몬드의 경도를 증가할 수 있는 신물질로서 그 뛰어난 물리 화학적 특성과 응용 가능성이 대두된 이후 지금까지 새로운 물질은 찾는 연구자들의 주 관심사가 되어 왔었다. 1989년 Liu와 Cohen<sup>[1]</sup>에 의해 결정성 질화탄소막의 합성 가능성과 경도 값을 비롯한 여러 가지 물리·화학적 특성에 관한 최초의 발표 이후 많은 연구자들이 결정성 질화탄소막을 합성하기 위해 노력해 왔다. 초기 관심사는 대부분 결정성 질화탄소막의 합성과 특성 분석이었으며, 이론적인 분석 응용가능성에 관한 내용들도 있었다.

질화탄소막을 형성하기 위하여 학자들은 모든 박막 형성법을 동원하였다. 심지어 보다 높은 활성화 에너지를 공급하기 위하여 두 가지 이상의 기법을 복합적으로 사용하기도 하였다<sup>[2]</sup>. 그러나 아직 실용화할 수 있는 결정성 질화탄소막은 합성되지 못했다. Matsumoto<sup>[3]</sup>는 그의 리뷰논문에서 1999년까지 결정성을 주장하는 70여 편의 논문을 평가한 바 있었다. 이에 따르면 대부분의

결과는 비정질 상태이고, 결정성이 있어도 결정의 크기가 나노 단위이거나 아주 국소적인 영역에 불과한 것으로 평가하였다<sup>[3-6]</sup>.

이는 질화탄소막이 경도는 강하면서도 탄성적인 성질을 가지는 fullerene-like 미세구조(3차원 공유결합 네트워크를 가지면서 기본 결정면이 굽은 상태로 서로 교차할 수 있는 구조)를 형성하고 있기 때문이다. 즉 질소가 6면체의 그래파이트형(graphitelike)결정면에 결합되면서 sp<sup>3</sup> 탄소면 사이에 가교결합되어 기본 결정면을 휘도록 만들어 5면체의 구조로 바뀌도록 한다<sup>[7]</sup>. 이러한 결정면의 변화를 일으키기 위해서는 결합 시 높은 에너지를 요구하게 된다. 그러므로 양질의 질화탄소막을 형성하기 위해서는 질소가 탄소와 반응할 때 기관의 가열 또는 전·자기에너지 등 충분한 에너지를 제공하여야 한다. 뿐만 아니라 질화탄소막은 공기 중의 물 분자와 반응하여 C-H 또는 N-H 결합으로 폴리머 형태가 되기 쉽다. 그러나 이와 같은 특성은 막의 결정화나 경도는 낮추지만 오히려 습기를 감지할 수 있는 새로운 감습 물질로 사용할 수 있는 좋은 가능성을 나타내 준다<sup>[8,9]</sup>.

본 연구에서는 막 질이 치밀하고 저온에서 성막이 가능한 직류 바이어스를 인가한 반응성 마그네트론 RF 스퍼터링 장치를 이용하여 제조조건을 달리한 결정화탄

경남대학교 전자전기공학부(Department of Electronic and Electrical Engineering, Kyungnam university)

<sup>†</sup>Corresponding author: sensors@kyungnam.ac.kr

(Received : July 28, 2005, Accepted : August 31, 2005)

소막을 성장하고, 주사전자현미경(SEM), 푸리에변환 적외선 분광기(FTIR) 및 라만분광기(Raman Spectroscopy)로 물리적 특성을 조사하였다. 또한 질화탄소막 습도센서를 설계 및 제조하고 반응가스의 비율, 기판의 종류에 따른 감습특성을 조사하였다.

## 2. 실험

기판은 저항률이  $10 \Omega \cdot \text{cm}$ 인 p형(100) 실리콘 웨이퍼, 실리콘 웨이퍼 위에 LPCVD법으로 약  $2500 \text{ \AA}$ 의 질화막을 성장시킨  $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{Si}$ , 알루미늄 및 석영을 준비하였다. 기판의 표면을 검사한 후 표면에 있는 무기물 및 유기물 불순물을 제거하기 위해 반도체 제조공정의 전형적인 초기 세척법을 이용하여 표면을 세척하였다. 질화탄소막을 형성하기 위해서 RF 마그네트론 스퍼터 내에서 99.997%의 탄소 타겟을 사용하였으며, 스퍼터링 및 반응 가스는 99.999%의 Ar과 99.999%의 질소 가스를 사용하였다. 본 시스템에서는 챔버 전체를 가열하여 챔버 내부에 균일한 온도를 유지하도록 하고, 기판 전역에 동일한 열에너지를 공급할 수 있게 하였다. MFC를 통하여 질소와 아르곤의 비율 0/100, 30/70, 50/50, 70/30 및 100/0으로 변화시키며 막을 증착하였다. 초기 압력은  $2 \times 10^{-6}$  torr로 하고, 약 5분간 예비 스퍼터링을 실시하여 타겟 표면의 불순물을 제거하였다. 기판은 타겟과 5~10 cm 사이에서 거리 조절이 가능하게 하였고, 챔버와 함께 접지가 되거나 따로 직류 바이어스 단자와 연결할 수 있도록 하였다. 질화탄소막 증착시 스퍼터링 조건은 전력은 200 W, 기판 바이어스는  $-60 \text{ V}$ , 내부온도는  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  그리고 증착시간은 60분으로 하였다. 이들 조건은 기존의 실험 결과에서 얻은 것이다<sup>[8-11]</sup>.

습도센서의 제작을 위해 하부 전극과 상부 전극 공히 알루미늄을 사용하였다. 먼저 하부전극을 형성한 후 그 위에 질화탄소막을 증착하고, 가로 및 세로가 각각  $8 \mu\text{m}$ 인 격자형 메시를 가진 상부 전극을 리프트 오프 공정으로 제작한 후  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 에서 5분간 열처리하여 샘플을 제작하였다. 그림 1은 설계된 습도센서의 구조를 나타낸 것이다.

제작된 센서의 감습 특성을 조사하기 위해 그림 2와 같이 가능한 모든 장치를 자체 제작된 항온 챔버 내부에 넣어 온도의 영향을 최소화하였다. 주입 가스는 수분이 포함되어 있지 않은 공기(dry air)와 포화 수증기를 각각의 MFC(mass-flow controller)를 통해 조절하여 측정용 챔버로 유입되게 하였다. 측정용 챔버에는 준비된 시료와 온도센서, 그리고 값을 비교하기 위한

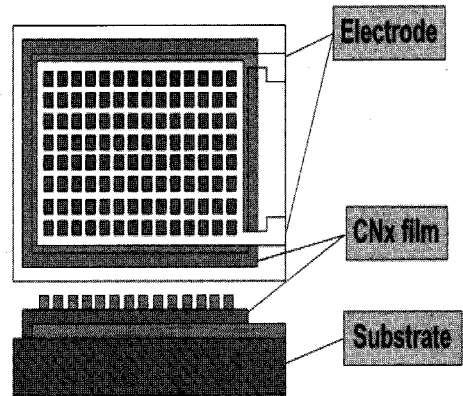


그림 1. 격자형 메시 전극을 가진 습도센서의 개략도  
Fig. 1. Schematic view of humidity sensor with meshed electrode.

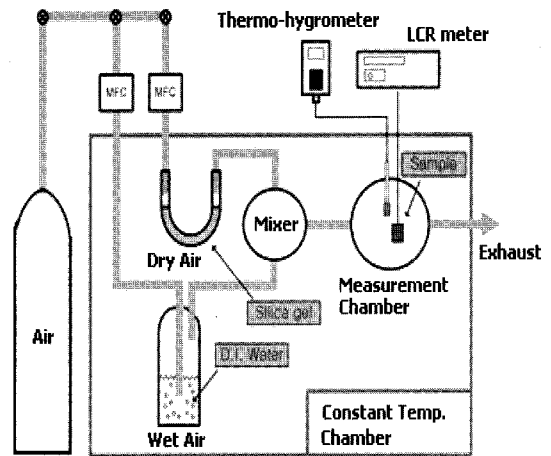


그림 2. 항온 챔버를 이용한 습도 측정 장치의 개략도  
Fig. 2. Schematic of humidity measurement system using constant temperature chamber.

상업용 습도센서(Control Company, Accuracy:  $\pm 1.5 \%$  RH, Calibration complies with ISO 17025)를 삽입하였다. 측정 챔버의 온도는 모든 시료를 동일한 온도조건에서 측정하기 위해  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 로 고정 하였다. 샘플은 반도체 소자분석기(ELECS 424)와 LCR(HP 4263B) 메타로 전류-전압 특성 및 습도에 따른 임피던스 변화를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

습도센서의 표면은 다공성을 띄고 있어야 하며, 물 분자의 흡·탈착 시에 기공 및 결정립의 상태에 따라

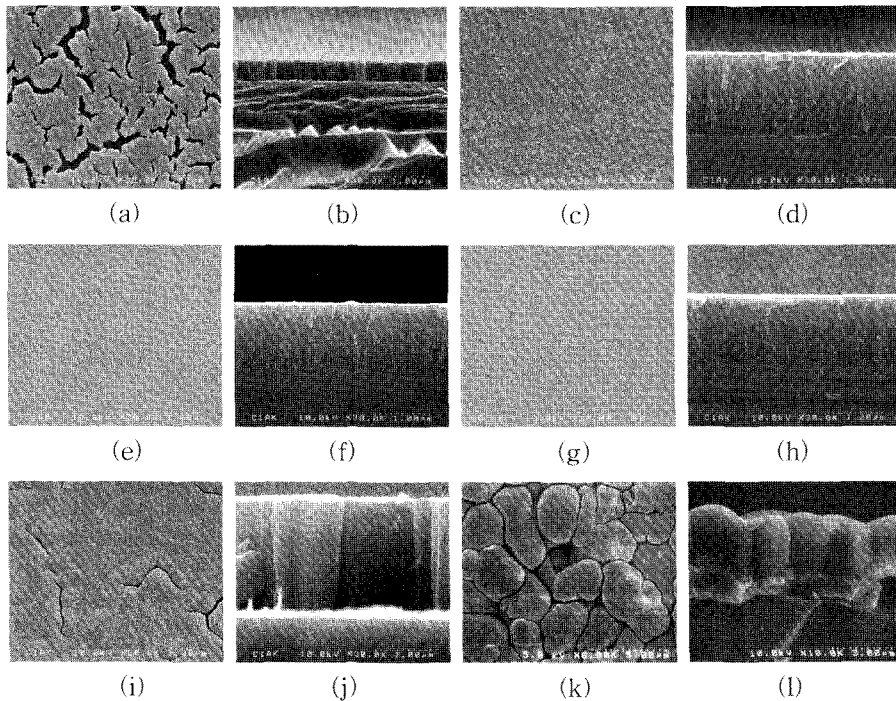


그림 3. 질화탄소막의 전자현미경 표면 및 단면 사진; (a)와 (b) 실리콘 기판, 질소 대 아르곤 비(0/10), (c)와 (d) 실리콘 기판, 질소 대 아르곤 비(30/70), (e)와 (f) 실리콘 기판, 질소 대 아르곤 비(50/50), (g)와 (h) 실리콘 기판, 질소 대 아르곤 비(70/30), (i)와 (j) 실리콘 기판, 질소 대 아르곤 비(10/0), (k)와 (l) 알루미늄 기판, 질소 대 아르곤 비(70/30)

Fig. 3. Surface and cross-sectional SEM images of deposited carbon nitride films; (a) and (b): Si substrate,  $N_2/Ar(0/10)$ , (c) and (d): Si substrate,  $N_2/Ar(30/70)$ , (e) and (f): Si substrate,  $N_2/Ar(50/50)$ , (g) and (h): Si substrate,  $N_2/Ar(70/30)$ , (i) and (j): Si substrate,  $N_2/Ar(10/0)$ , (k) and (l):  $Al_2O_3$  substrate,  $N_2/Ar(70/30)$ .

그 특성이 달라진다. 주사전자현미경(ABT-32, TOP-CON)을 이용하여 증착된 막의 표면 및 측면을 관찰하였다. 그림 3은 질소 대 아르곤 비에 따른 실리콘 기판과 알루미늄 기판 위에 성장된 질화탄소막의 표면 및 측면 사진이다. 전력은 200 W, 기판 바이어스는 -60 V 그리고 내부온도는 200 °C로 고정하였다. 반응가스인 질소를 주입하지 않고 순수한 아르곤 가스만으로 막을 증착한 경우(그림 3(a), (b)), 표면에 크랙이 많이 생기고 결정립이 거의 형성되지 않은 것을 볼 수 있다. 이는 탄소와 실리콘이 결합한 탄소실리콘 막이 형성될 때 실리콘 기판과의 접착력이 나빠 표면에 크랙이 생긴 것으로 사료된다. 반응가스인 질소의 비를 3/7, 5/5 및 7/3으로 점차 높임에 따라 (그림 3(c), (d), (e), (f), (g), (h)) 표면에 결정립이 형성되고 막이 치밀해 짐을 알 수 있다. 그러나 질소만을 주입하여 막을 형성한 경우(그림 3(i), (j)), 다시 표면에 크랙이 생기고 기공이 실리콘 기판까지 형성됨을 알 수 있다. 기판과 막의 인

터페이스까지 기공이 형성되면 물 분자의 탈착 시 응축된 물 분자가 빠져나가는데 많은 시간이 걸리고 표면에 누설 전류를 일으키는 원인이 된다. 심지어 기공의 형태가 잉크병 모양(ink bottle shape)으로 생기면 히스테리시스의 주원인이 된다. 그림 3의 (k)와 (l)은 질소 대 아르곤의 비를 7/3으로 한 경우 알루미늄 기판에 형성된 질화탄소막의 표면 및 단면 사진이다. 알루미늄 기판은 표면 거칠기가 실리콘 웨이퍼 보다 높으므로 결정립의 형성은 용이하고 막의 성장률도 높지만 전술한 바와 같이 인터페이스 상태가 좋지 않으므로 히스테리시스가 클 것으로 예상된다. 질소 대 아르곤의 비를 7/3으로 했을 때 질화탄소막의 결정립 크기는 실리콘 웨이퍼 기판의 경우 약 320 nm, 알루미늄 기판의 경우 약 2.8  $\mu m$ 로 각각 나타났다. 또한 질화탄소막의 성장률은 실리콘 웨이퍼 기판의 경우(그림 3(h), 증착 시간 30분) 약 2.2  $\mu m/hr$ , 알루미늄 기판의 경우(그림 3(l), 증착시간 20분) 약 2.7  $\mu m/hr$ 으로 나타났으며, 이는

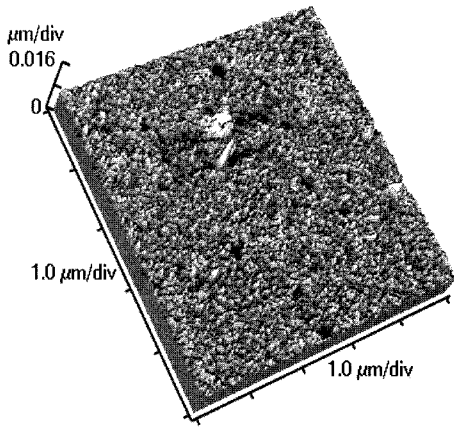


그림 4. 200 °C 챔버 내에서 증착된 질화탄소막의 AFM 이미지  
 Fig. 4. AFM image of CN film prepared in heated chamber of 200 °C.

알파 스텝(KLA-Tencor, 500)으로 측정한 결과와 거의 일치하였다.

박막의 표면 거칠기는 기판의 표면 상태에 매우 의존적이며, 박막형 센서의 경우 표면 거칠기가 작은 막일수록 센서의 선형성은 높고, 히스테리시스는 줄어든다. 그림 4는 실리콘 기판 위에 성장된 질화탄소막의 AFM 이미지이며, RMS 거칠기는 약 0.72 nm로 나타났다. 이온 폴리싱된 실리콘 기판의 거칠기가 0.15~0.2 nm인 것과 비교할 때 성장된 박막의 표면은 매우 균일함을 알 수 있다. 예상했던 대로 실리콘 기판에 성장된 질화탄소막이 알루미나 기판이나 석영 기판 위에 성장된 질화탄소막 보다 균일한 표면을 가지는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 특징은 이어지는 공정에 유연성을 제공하며, 특성 분석 시 해석도 용이하다.

결합이 완전한 α-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>나 β-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>는 매우 안정된 물질이기 때문에 실온에서 다른 가스나 화학물질과 쉽게 반응하지 않는다. 그러나 비 화학정량적인 질화탄소막은 수분이 있는 공기 중의 하이드록실 군(hydroxyl group)들과 쉽게 반응한다. 질화탄소막 내에서 수소가 탄소와 반응할 때 수소 원자는 압축 스트레칭이 생기고, 탄소 원자는 인장 스트레칭이 생기기 때문에 C=N 나 C≡N 결합이 깨어져 C-H나 N-H 결합으로 바뀌진다. 이러한 현상은 다음 식으로 표현할 수 있다<sup>[9]</sup>.

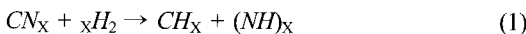


그림 5는 다른 기판 위에 성장된 질화탄소막의 FTIR 분석결과이다. 세 종류의 기판(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Si/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, Si)위에서 성장한 질화탄소막의 모든 샘플들이 1500 cm<sup>-1</sup> 주

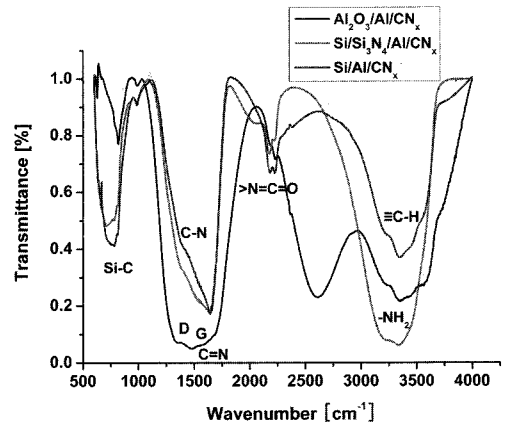


그림 5. 알루미나, 질화실리콘 및 실리콘 웨이퍼 위에 성장한 질화탄소막의 FTIR 스펙트럼  
 Fig. 5. FTIR spectrum of carbon nitride film deposited on alumina, silicon nitride and silicon wafer.

변과 3300 cm<sup>-1</sup> 주변에 유사한 주된 에너지 흡수 스펙트럼을 보여준다. 1500 cm<sup>-1</sup> 주변의 피크는 C-N(1100~1400 cm<sup>-1</sup>), C=N(1600~1700 cm<sup>-1</sup>), G(1270~1410 cm<sup>-1</sup>), D(1520~1590 cm<sup>-1</sup>)의 흡수 피크이며, 3300 cm<sup>-1</sup> 주변의 피크는 질화탄소막이 수분과 반응하여 C-N, C=N 피크들이 N-H(3200~3380 cm<sup>-1</sup>), C-H (3300 cm<sup>-1</sup>) 결합으로 바뀌어 졌음을 보여준다. 또한 3400 cm<sup>-1</sup> 부근과 그 이하에서의 광범위한 피크는 -OH 피크이다.

질화탄소막을 성장시킬 때 챔버로 주입되는 질소와 아르곤의 가스비는 박막의 화학적 정량화 및 센서의 특성에 중요한 영향을 미친다. 그림 6은 주입되는 질소

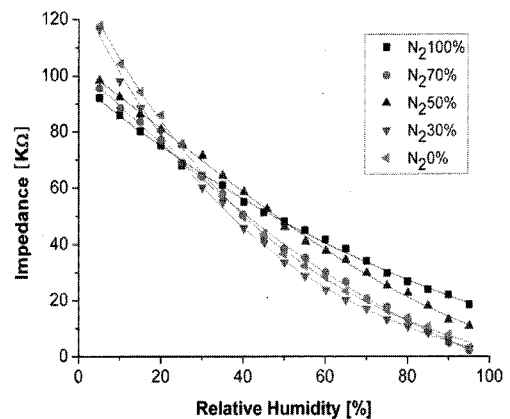


그림 6. 질소농도비에 따른 질화탄소막 습도센서의 임피던스 특성  
 Fig. 6. Impedance characteristics of carbon nitride humidity sensors as a function of N<sub>2</sub> ratio.

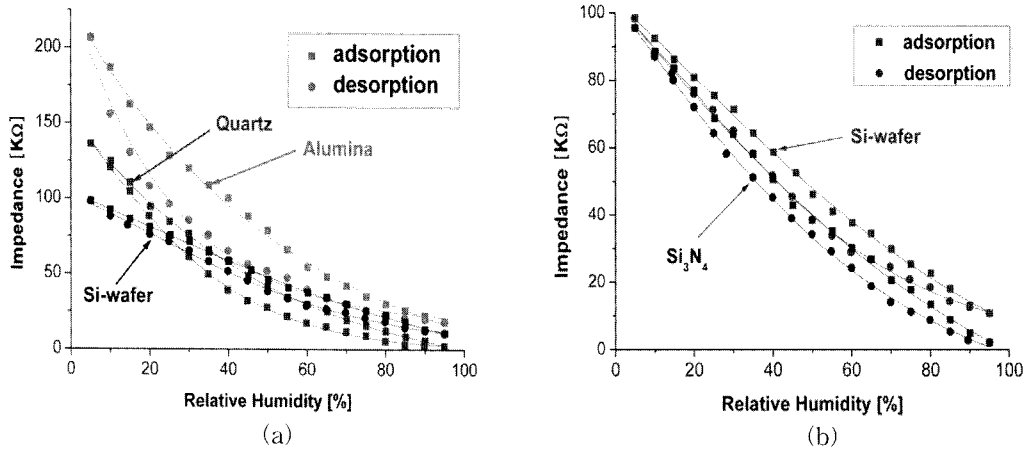


그림 7. 기판에 따른 질화탄소막 습도센서의 히스테리시스 특성  
 Fig. 7. Hysteresis characteristics of carbon nitride humidity sensors at different substrates.

와 아르곤의 비에 따른 센서 임피던스의 습도의존성을 나타낸 것이다. 주입된 질소의 농도가 낮을수록 센서의 임피던스 변화폭은 크고, 질소의 농도가 높아질수록 센서의 임피던스 변화폭은 줄어든다. 그러나 질소농도가 50%와 70%에서 가장 높은 선형성이 나타났다. 결과적으로 탄소와 물 분자의 반응이 질소와 물 분자의 반응보다 조금 더 큰 영향을 미침을 알 수 있다. 그러나 그림 3에서 나타난 바와 같이 성장된 박막의 성장속도와 박막 표면의 물리적 안정성을 고려해 볼 때 50~70%의 질소농도에서 성장된 질화탄소막이 습도센서로 적용하기에 가장 용이할 것으로 사료된다. 선행된 연구결과에 따르면, 온도에 따라 저항이 감소하는 특성이 있으나 그 변화폭이 적고 상온에서 선형적으로 변화하므로 센서 시스템부분에서 충분히 보상이 가능하다<sup>[8]</sup>.

그림 7은 기판의 종류에 따른 질화탄소막 습도센서의 임피던스 변화와 히스테리시스 특성을 나타낸 것이다. 알루미늄, 수정, 실리콘 및 질화실리콘 기판 위에 성장한 질화탄소막의 특성을 비교한 결과, 알루미늄, 수정, 실리콘 기판 순으로 습도에 대한 임피던스 변화폭이 큼을 알 수 있다. 그러나 센서의 선형성과 히스테리시스 특성은 실리콘 웨이퍼를 베이스로 한 기판에서 가장 좋은 특성을 얻을 수 있었다. 이는 전술한 바와 같이 센서의 표면 거칠기와 형성된 기공의 형태와 깊은 연관성이 있다. 알루미늄기판은 잉크병모양의 많은 구멍과 골들이 있어 수분과 반응할 수 있는 표면적은 증가하나, 한번 침투한 수분의 탈착이 어려워 습도에 대한 선형성을 떨어뜨리게 된다<sup>[9]</sup>. 그러나 표면이 아주 균일한 실리콘 기판에서는 임피던스 변화폭은 좁지만 높은 선형성과 히스테리시스 특성을 보여준다. 알루미늄

기판에서 성장된 질화탄소막의 히스테리시스가 15.8% FSO로 가장 높게 나타났고, 수정 기판이 11.1% FSO, 그리고 실리콘기판이 4.4% FSO로 가장 낮게 나타났다. 이때 히스테리시스 측정은 질소 주입비 50%로 성장된 샘플을 상대습도 50% RH에서 측정된 값이다. 실리콘기판과 질화실리콘 박막위에 성장한 질화탄소막의 히스테리시스는 유사한 값을 나타내었다(그림 7(b)). 이는 두 기판의 표면 거칠기가 유사하기 때문이다.

그림 8은 실리콘 기판위에 성장된 질화탄소막 습도센서의 응답속도를 측정된 결과이다. 흡착 및 탈착시간을 각각 센서의 임피던스 변화폭의 90%와 10%까지

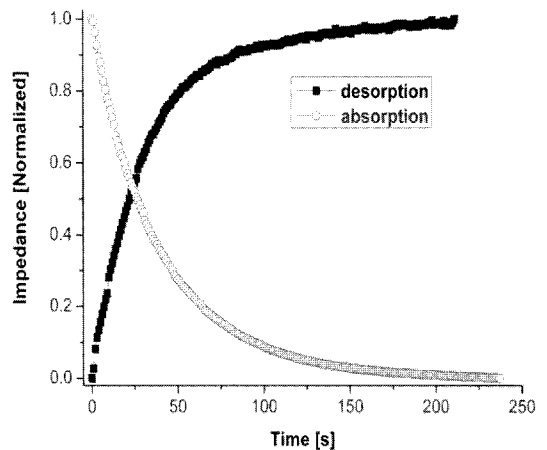


그림 8. 질화탄소막 습도센서의 응답 특성  
 Fig. 8. Response curve of the carbon nitride humidity sensor.

도달시간으로 정의할 때 흡착시간은 약 80초, 탈착시간은 약 90초로 비교적 빠른 응답속도를 나타내었다.

#### 4. 결 론

반응성 마그네트론 스퍼터링 장치를 이용하여 질화탄소막을 성막하고, 질화탄소막의 감습 특성에 영향을 주는 요소인 질소와 아르곤의 비 및 기판의 종류를 달리하여 상대습도에 대한 임피던스 특성을 조사하였다. 박막 성장 시 주입된 질소의 농도가 감소할수록 임피던스 변화폭은 커지고 질소의 농도가 증가할수록 감소하였다. 질소농도비가 약 50~70%에서 가장 뛰어난 선형성을 보여 주었으며, 이때 상대습도가 5~95%로 변할 때 임피던스는 95.4 k $\Omega$ ~2.1 k $\Omega$ 로 줄어들었다. 기판의 표면 거칠기가 높은 알루미늄기판의 경우 임피던스 변화폭은 커지지만 선형성과 응답속도는 느려지는 경향이 있고, 반대로 표면 거칠기가 낮은 실리콘이나, 질화실리콘의 경우 임피던스 변화폭은 줄어들지만 선형성과 히스테리시스 특성은 개선되었다. 그러므로 비록 센서의 임피던스 변화폭은 약간 작지만 빠른 응답특성과 높은 선형성을 얻기 위해서는 실리콘 기판이나 질화실리콘기판을 사용하는 것이 유리하다고 결론지을 수 있다. 주입된 질소 가스의 비가 50%에서 성막된 질화탄소막 습도센서의 응답속도는 흡착시간이 약 80초, 탈착시간이 약 90초로 나타났다. 실리콘 기판을 기반으로 하는 반도체 공정에 적용가능성을 고려해 볼 때 마이크로 및 나노크기의 멀티센서나 스마트 센서 등의 응용이 가능할 것으로 사료된다<sup>[12]</sup>.

#### 감사의 글

본 논문은 2004학년도 경남대학교 학술진흥연구비에 의해 수행된 연구입니다.

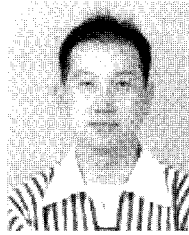
#### 참고 문헌

- [1] A. Y. Liu and M. L. Cohen, "Prediction of new low compressibility solids", *Science*, vol. 245, pp. 841-842, 1989.
- [2] C. Jama, O. Dessaux, P. Goudmand, J.-M. Soro, D. Rats, and J. von Stebut, "Structural and micro-mechanical studies of CN<sub>x</sub> films deposited on silicon substrates in a remote nitrogen plasma", *Surf. Coat. Technol.*, vol. 116-119, pp. 59-64, 1999.
- [3] S. Matsumoto, E.-Q. Xie, and F. Izumi, "On the validity of the formation of crystalline carbon nitrides, C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> [review]", *Diamond and Related Materials*, vol. 8, pp. 1175-1182, 1999.
- [4] R. C. DeVries, "Inventory on innovative research : The case of C<sub>3</sub>N<sub>4</sub>", *Mater. Res. Innovations*, vol. 1, pp. 161-162, 1997.
- [5] C. M. Sung and M. Sung, "Carbon nitride and other speculative superhard materials [invited review]", *Materials Chemistry and Physics*, vol. 43, pp. 1-18, 1996.
- [6] S. Muhl and J. M. Mendez, "A review of the preparation of carbon nitride films [review]", *Diamond and Related Materials*, vol. 8, pp. 1809-1830, 1999.
- [7] N. Hellgren, M. P. Johansson, E. Broitman, L. Hultman, and J-E. Sundgren, "Role of nitrogen in the formation of hard and elastic CN<sub>x</sub> thin films by reactive magnetron sputtering", *Phys. Rev.*, vol. 59, pp. 5162-5169, 1999.
- [8] J. G. Lee and S. P. Lee, "Nano-structured carbon nitride film for humidity sensor applications", *J. Kor. Phys. Soc.*, vol. 45, pp. 619-22, 2004.
- [9] J. G. Lee and S. P. Lee, "Humidity sensing properties of CN<sub>x</sub> film by RF magnetron sputtering system", *Sensors and Actuators B*, vol. 108, pp. 450-454, 2005.
- [10] J. G. Lee and S. P. Lee, "Characterization of crystalline carbon nitride films deposited on Si and Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>/Si substrate by RF magnetron sputtering system with DC bias", *J. Electroceram.*, vol. 13, pp. 321-326, 2004.
- [11] 이성필, S. Showdhury, "페닝 소스 스퍼터링 장치를 이용한 결정성 질화탄소막의 성장 및 물리적 특성", *센서학회지*, 제9권, 제3호, pp. 96-103, 2000.
- [12] 이성필, S. Showdhury, "Performance of differential field effect transistors with porous gate metal for humidity sensors", *센서학회지*, 제8권, 제6호, pp. 434-439, 1999.



**이 성 필**

- 1983년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 1985년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 1989년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 현재 경남대학교 전자전기공학부 교수
- 주관심분야 : 반도체 센서, 센서 신호처리 및 모델링



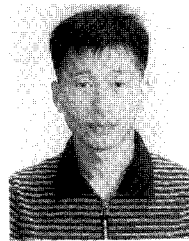
**김 정 훈 (金 廷 勳)**

- 2003년 2월 경남대학교 전자전기공학부 졸업(공학사)
- 2005년 2월 경남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 주관심분야 : 반도체 습도센서



**이 효 웅 (李 孝 雄)**

- 2003년 2월 경남대학교 전자전기공학부 졸업(공학사)
- 2005년 8월 경남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 주관심분야 : 반도체 센서 및 증착



**이 지 공 (李 志 公)**

- 2001년 2월 경남대학교 전자공학과 졸업(공학사)
- 2003년 2월 경남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2005년 2월 경남대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료
- 주관심분야 : 반도체 센서, 습도센서, 질화탄소막, 박막증착 등