

## Membrane을 이용한 박막센서 특성 분석

이순우 · 김상훈 · 안진호

### The Characteristic Analysis of Thin Film Sensor using The Membrane

Sun-Woo Lee, Sang-Hoon Kim and Jin-Ho Ahn

Division of Materials Science & Engineering, Hanyang University  
17 Haengdang-dong, Seungdong-gu Seoul, Korea 133-791

**초 록:** 본 연구에서는 자기 공명 특성을 이용한 박막 센서의 멤브레인 및 박막 센서의 특성을 알아보았다. 멤브레인으로 유망한 물질로  $Si_xN_y$ 와 SiC가 있으며, 최적의 멤브레인 형성 조건을 알고자 박막의 잔류 응력 및 물성을 비교 분석하였다. 그 중에서 박막 센서에 적용 가능한 멤브레인으로 SiC보다 적절한 인장응력과 낮은 열팽창 계수를 가지는  $Si_xN_y$ 이 센서의 구조층으로 우수하였으며,  $Si_xN_y$ 위에 박막 센서 물질을 증착 및 패터닝(patterning)을 함으로써 센서의 자기 이력 곡선 및 자기 공진 주파수를 분석하였다. 센서에 인가되는 외부 자기장을 제거하면 자장에 의해 형성된 자화(magnetization)가 탄성 모드로 바뀌면서 에너지 방출에 의해 센서에서 전압이 발생하는데 이때 전압 발생 구간이 길어지면 기계적 진동이 야기되어 신호가 발생한다. 그리고 센서의 길이 및 폭이 증가할수록 자기공명 주파수가 감소하는 것을 볼 수 있다.

**Key Words:** 멤브레인,  $Si_xN_y$ , 자성 박막 센서

**Abstract:** In this research, we investigate the properties of membrane and thin film sensor which is using magnetic resonance properties. we expect to  $Si_xN_y$  and SiC materials as membrane materials, we measured thin film stress and properties to find the best membrane fabrication condition. Of the two membrane,  $Si_xN_y$  thin film is the better than SiC thin film. because of an adequate tensile stress and lower thermal expansion coefficient as sensor structure layer. After performing deposition and patterning thin film sensor material on  $Si_xN_y$ , we analyzed the magnetic hysteresis and magnetic resonance frequency of sensor. If the magnetic field which is applied in sensor material is removed, magnetization made by magnetic field is transited to elastic mode. moreover, energy radiation is induced during the transition and voltage generates in sensor by energy radiation. At this moment, If voltage generation period is longer, mechanical vibration is induced and signal is generated by mechanical vibration. we also see that as the increase of thin film sensor' length and width, magnetic resonance frequency is decreased.

## 1. 서 론

최근에 들어 특성을 고도화시킨 기능재료가 많은 관심의 대상이 되고 있는데, 그중에서도 자성재료는 오랫동안 여러 가지 센서에 이용되어 왔다. 특히 20년전부터 물류의 감시와 통제에 자기적 성질을 이용하는 새로운 활용분야가 급속히 발전하고 있으며, 최근 미국 등 많은 나라에서 연구가 이루어지고 있다. 이러한 것을 전자 물품 감시(EAS: Electronic Article Surveillance) 시스템이라 하는데 이는 자기적 변형 특

성(Magnetostrictive Resonance)을 갖는 물질을 부품에 부착함으로써 물류를 통제하거나 물품의 도난을 방지할 수 있다. 이러한 자기 공명 센서<sup>1)</sup>는 외부 인가 자기장에 의해 포화(saturation)상태로 변화하는데 이때 외부 자기장이 제거되면 자장에 의해 형성된 자화(magnetization)가 탄성 모드로 전이되고, 탄성 모드가 에너지를 방출하기 위해 기계적 진동을 야기하고 특유의 자기적 신호를 방출한다.

기존에 사용되는 센서는 RSP(Rapid Solidation Process) 공법으로 제작 되었다. 본 연구에서는 sput-

tering방법을 이용하여 박막의 소형화를 구현하여 소형의 높은 신호 비정질 박막센서의 제작을 목표로 하였다. 본 연구는 마이크로 머신닝 기술을<sup>2,3)</sup> 이용하여 멤브레인형 센서를 마이크로 단위까지 축소화하여 센서의 거동을 살펴보았으며, 그리고 박막 센서의 거동에 필요한 멤브레인의 특성을 연구하였다.

멤브레인 물질로는  $Si_xN_y$ 와 SiC 물질이 유망하며  $Si_xN_y$ 은 가시광에 대한 고투과도, 미세 패턴 형성을 위한 표면 평활도, 비교적 쉬운 공정과 잔류응력의 조절 용이성등<sup>4,5)</sup>으로 그 응용성이 기대되며, SiC는 강도 및 탄성계수가 우수한 물질로서 알려져 있으며 많은 연구가 되고 있다.

멤브레인위에 자성센서 물질을 증착하고 패턴닝(patterning)을 하여 주파수를 측정함으로써 센서의 거동을 규명 하고자한다.

### 2. 실험방법

본 실험은 4인치 (100) P-type 실리콘 웨이퍼를 기판으로 ECR plasma CVD를 이용하여 멤브레인을 증착하였다. 증착 전 웨이퍼 표면의 유기물 제거를 위한 아세톤, 메탄올, DI water 순서로 세정작업을 실시하였다.  $Si_xN_y$ 의 증착조건은 source gas로는  $SiH_4$ 와  $NH_3$ 를 사용하여 그 혼합비와 증착온도를 변화시켜가며 공정압력 1.3 mtorr에서 증착을 하였으며 SiC 박막은 source gas로  $SiH_4$ 와  $CH_4$ 를 사용하여 증착 온도를 변화시켜 가며 공정압력 10 mtorr조건에서 증착하였다.

센서의 거동에 중요한 잔류응력의 제어를 위해 기판의 온도에 따른 멤브레인의 잔류응력을 각각 측정하였으며, 센서 물질의 구조층으로 적합한 기계적 강도 유지를 위해 탄성 계수를 각각 측정하였으며, 우수한 표면 평활도를 알아보기로 AFM(Atomic Force Microscope)분석을 하였다.  $Si_xN_y$ 의 패턴(pattern)형성을 위해 ECR(Electron Cyclotron Resonance) plasma etcher를 사용하여 건식 식각 하였으며, 원료 가스로는  $SF_6$ 를 12 sccm, Ar을 3 sccm씩 공급하고, 마이크로 웨이브 파워는 1000 w, 상부 마그네틱은 150 A, 하부 마그네틱은 100 A, 공정 압력은 10 mtorr로 고정하고 RF power만을 변화 시켜가며 식각하였다.

센서물질의 증착은  $Si_xN_y$  박막 위에 DC sputter를 이용하여 Ar분위기에서 공정압력 1.5 mtorr, Bias Power 64 w 조건으로 5000 Å을 증착하였고, PR을 mask로서 패턴닝을 하였다. 멤브레인의 형성을 위해 back etching시 센서보호 물질로 DC magnetron sput-

tering system으로 텅스텐을 3000 Å 증착하였으며, 80°C KOH용액에서 Si의 back etching을 수행하였다. 그리고 센서물질의 박막에 따른 이력곡선 특성을 알아보하고자 VSM(Vibrating Sample Magnetometer)측정을 하였으며 자기공명 주파수를 알아보하고자 Impedance Analyze를 측정하였다.

### 3. 실험결과

ECR plasma CVD에 의한  $Si_xN_y$ 의 증착은 원료가 스인  $SiH_4/NH_3$ 의 혼합비와 증착 온도를 변화 시켜서 실험하였는데 증착 온도 및 혼합비에 따른 결과는 그림 1에 나타내었다. 증착 온도가 증가함에 따라 박막의 잔류응력은 압축 응력에서 인장 응력으로 변하고 있는데 이것은 온도가 증가함에 따라  $Si_xN_y$ 내의 수소 함량의 감소와  $SiH_4$ 의 분해 속도보다  $NH_3$ 의 분해속도가 더 빨라져서 박막내의 Si/N비가 커지기 때문으로 설명된다<sup>4,6)</sup>. 그리고 원료가스 중의  $SiH_4$ 양이 증가함에 따라 박막의 잔류응력은 인장에서 압축 응

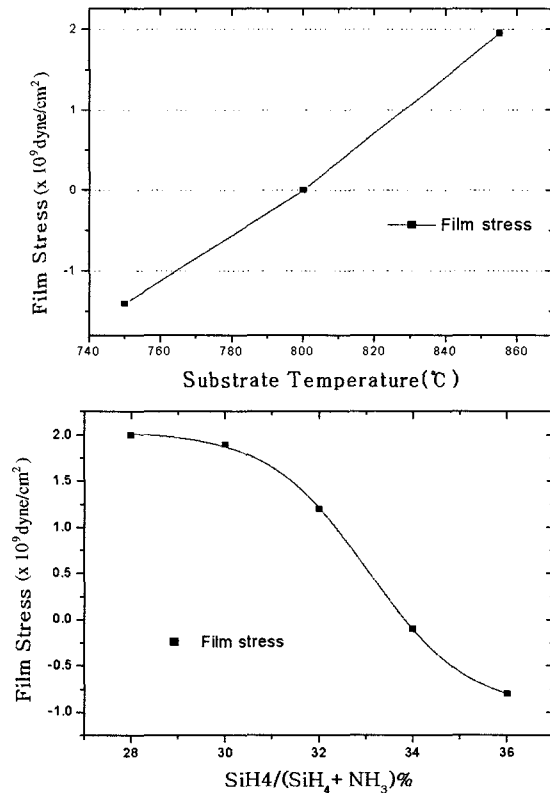


Fig. 1.  $Si_xN_y$  film stress as a function of the substrate temperature and composition.

력으로 서서히 바뀌고 있는 것을 볼 수 있다. 저 응력의  $\text{Si}_x\text{N}_y$  박막 증착을 위한 적정 온도는  $800^\circ\text{C}$ 이고, 원료가스의 최적 혼합비는  $\text{SiH}_4/(\text{SiH}_4+\text{NH}_3)$ 에서  $\text{SiH}_4$  33.8%이며, 그때의  $\text{Si}_x\text{N}_y$ 의 멤브레인 두께는  $1\ \mu\text{m}$ 이고 잔류응력은  $2 \times 10^9\ \text{dyne/cm}^2$ 이다.

이와 비교해  $\text{SiC}$  멤브레인은 ECR CVD를 이용하여 증착하였고 증착 온도에 따른 잔류응력의 변화를 그림 2에 나타내었다.  $\text{SiC}$  박막이 멤브레인으로 사용되기 위해선  $100\ \text{MPa}$ 정도의 잔류응력이 존재해야 하는데 증착 온도가 증가함에 따라 압축 응력이 발생하는 것을 볼 수 있다. 이는 H등의 가스 불순물이 박막으로 확산되어 발생하는 것으로 보여진다.

이러한 방법에 의해 증착된 멤브레인이 센서 구조층을 형성하는 데 적합한 기계적 강도를 가지고 있는지 판단하기 위해 Bulge tester 장치를 사용하여 탄성계수를 측정하였다. 그 결과는 그림 3에 나타나 있으며  $\text{SiC}$ 의 탄성계수가  $457\ \text{GPa}$ 로  $\text{Si}_x\text{N}_y$ 의 탄성계수  $155\ \text{GPa}$ 보다 비교적 높은 값을 보였으며 센서층의 구조층으로 우수한 기계적 강도를 가지는 것을 알 수 있다. 그러나 멤브레인은 자성센서 박막을 지지하고 자성 변성(magnetic distortion)에 견디기 위해서는 압축 응력보다는 인장 응력을 가져야 하며, 열팽창계수가 낮고 제로 응력(zero stress)에 가까울수록 좋으므로 기계적 강도는  $\text{SiC}$ 비해 작지만 잔류응력이 우수

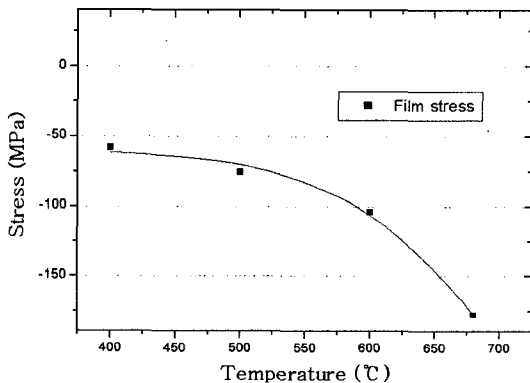


Fig. 2.  $\text{SiC}$  film stress as a function of the substrate temperature.

	Young's modulus ( $\times 10^{12}\ \text{dyne/cm}^2$ )	Thermal expansion coefficient ( $\text{deg}^{-1}$ )	Band gap (eV)
$\text{Si}_x\text{N}_y$	1.55	$2.1 \times 10^{-6}$	2.5~5.5
$\text{SiC}$	4.57	$4.6 \times 10^{-6}$	4.5

Fig. 3. Properties of  $\text{Si}_x\text{N}_y$  and  $\text{SiC}$  membrane.

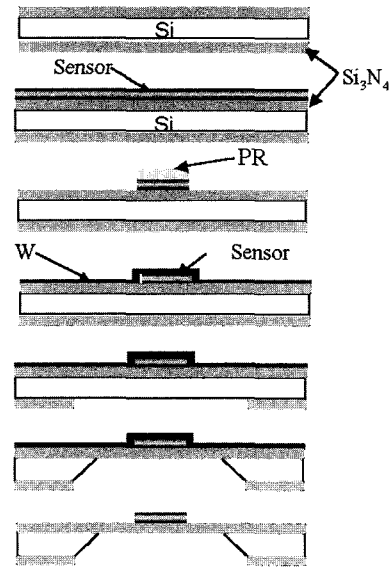


Fig. 4. Pattern of membrane.

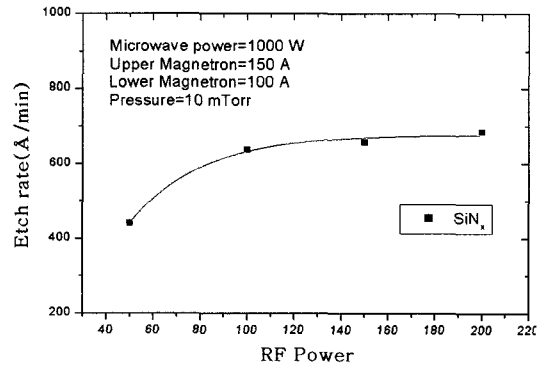


Fig. 5.  $\text{Si}_x\text{N}_y$  Etch rate with respect to RF bias power. (a) roughness variation before etching, (b) roughness variation after etching.

한  $\text{Si}_x\text{N}_y$ 이 센서의 구조층으로<sup>7)</sup> 우수한 것으로 생각된다.

양면을  $\text{Si}_x\text{N}_y$ 로 증착한 시편으로 그림 4과 같은  $\text{Si}_x\text{N}_y$ 의 패턴(pattern)형성을 위해 ECR(Electron Cyclotron Resonance) plasma etcher를 사용하여 건식 식각한 결과를 그림 5에서 나타내 보이고 있다. 이 그림에서 RF power가 증가함에 따라 식각율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 RF power의 증가에 따라 이온의 물리적 에너지 증가에 의해 식각률의 증가에 기인하는 것으로 생각된다.

$\text{Si}_x\text{N}_y$ 위에 증착된 박막 센서 및 박막 센서의 보호물질인 텅스텐의 식각 후에  $\text{Si}_x\text{N}_y$ 에 어떤 영향을 미치는지 조사하기 위해 AFM(Atomic Force Micro-

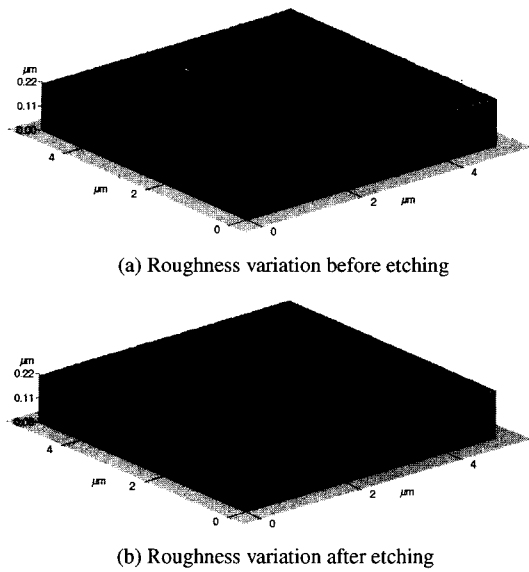


Fig. 6. Surface morphology of  $\text{Si}_x\text{N}_y$  film before and after wet etching. (a) Bulk sensor, (b) FeBSi thin film sensor.

scope)를 사용하여 표면 거칠기(RMS roughness)를 조사해 보았다. 그림 6는  $\text{Si}_x\text{N}_y$  위에 증착된 박막 센서와 센서 보호 물질인 텅스텐을 식각하기 전과 후의 표면 거칠기와 표면 형태를 나타낸 것으로 각각의 표면 거칠기값은 4.9 Å, 5.2 Å를 보였으며 약간의 표면 거칠기 증가가 있었는데 이는 박막 센서 및 텅스텐을 습식 식각시 wet etchant와 박막 센서 및 텅스텐과의 화학 반응에 의한 식각에 의해 표면이 거칠어진 것으로 생각된다.

일반적으로 자기 공명 센서는 센서 물질에 자기장을 걸어준 후 제거하면 자장에 의해 형성된 자화(magnetization)가 탄성 모드로 전이되고, 탄성 모드에 에너지를 방출하기 위해 기계적 진동을 야기하면서 센서에서 전압이 발생하는데 이때 전압 발생 구간이 짧으면 기계적 진동이 야기되지 않아 신호가 발생하지 않는다.

그림 7에서 센서 물질에 따른 자기 이력 곡선 특성이 보여지고 있는데 그림 7(a)는 벌크 센서 물질로서 보자력이 작은 소프트한 상태를 보여주는 것으로 작은 외부의 에너지에 스핀의 방향을 변환할 수 있고, 또한 외부 자계에 의한 포화(saturation) 자장이 높아 외부 자계가 사라져도 탄성 모드로 저장된 에너지가 기계적 진동을 야기하며 에너지를 방출하는 전압 발생 구간이 길어 센서 물질로서 거동이 가능한 높은 신호를 발생한다. 그림 7(b)는 박막 센서 물질로서 보

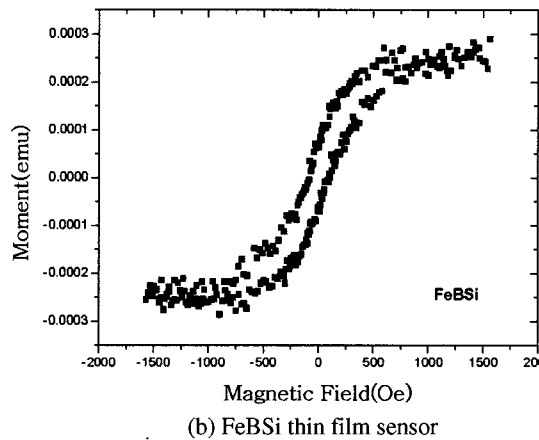
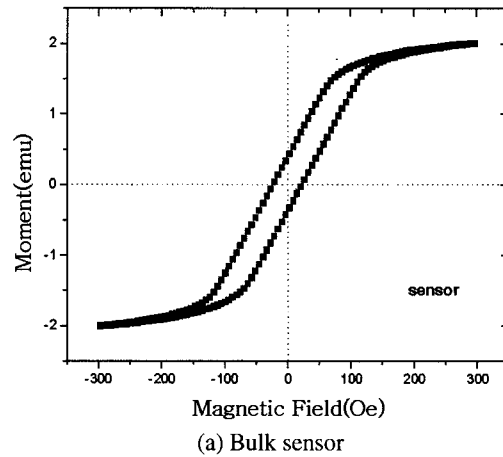
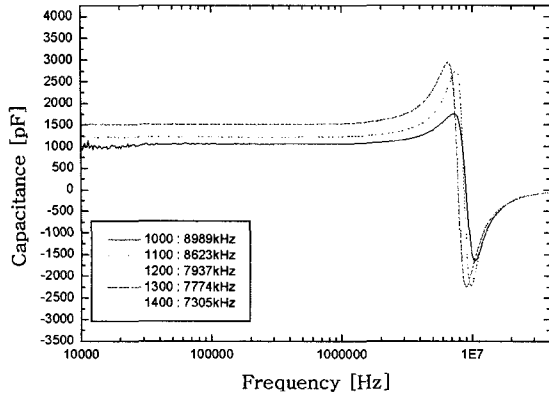


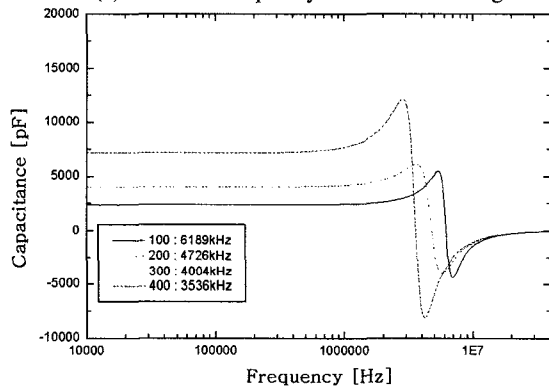
Fig. 7. VSM analysis of bulk sensor material (a) and FeBSi thin film sensor material (b).

자력이 커서 큰 에너지에 의해 스핀의 방향을 변환하며, 포화 자화값이 낮아 외부 자계에 의해 쉽게 포화(saturation)되어 외부 자계가 사라지면 자화도 거의 제로의 소프트한 상태로 되돌아오는 것으로 인가된 외부 자기장의 제거 시 에너지를 방출하는 전압 발생 구간이 짧아 낮은 신호가 발생한다.

소형화를 위한 패턴을 구현 하였을때 박막 센서 물질의 길이와 폭에 따른 공명 주파수(resonant frequency)를 분석한 결과가 그림 8에 보여지고 있다. 그림에서와 같이 길이와 폭이 증가할수록 주파수가 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이는 자기 공명(Magnetic resonance)이 일어나기 위한 자성 모드와 탄성 모드의 두개의 서로 다른 주파수가 센서의 길이 및 폭이 증가할수록 낮은 주파수에서 공통 주파수로 진동을 하면서 자기 공명(Magnetic resonance)을 일으키므로 자기 공명 주파수가 감소하는 것을 볼 수 있다.



(a) Resonant frequency as function of length



(b) Resonant frequency as function of width

Fig. 8. Resonant frequency of FeBSi thin film as a function of length & width. (a) Resonant frequency as a function of length, (b) Resonant frequency as a function of width.

#### 4. 결 론

멤브레인 박막을 이용한 센서의 거동을 알기 위해 ECR plasma CVD장비를 사용하여 멤브레인을 형성하고 Sputtering 장비를 사용하여 센서 물질을 증착하였다. 센서의 구조층으로 기계적 강도 및 적절한 인장응력을 가져야 하기 때문에 멤브레인의 잔류응력 및 탄성에너지를 비교하였다.

센서의 구조층으로 SiC 박막은 우수한 기계적 강도를 유지하였으나 센서에 필요한 저응력 박막의 형성이 어려워 잔류 응력의 제어 조절이 가능하고 비교적 적절한 강도와 낮은 열팽창 계수를 가지고 인장응력을 유지하는 Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub>를 센서의 구조층으로 사

용하였다.

멤브레인으로 우수한 Si<sub>x</sub>N<sub>y</sub>에 센서 물질을 증착하여 센서의 특성을 알아보았다. 멤브레인위에 증착한 박막 센서 물질의 자기이력 곡선 및 주파수를 분석한 결과 센서에 자기장을 걸어준 후 제거할 때 탄성 모드의 에너지를 진동 모드의 에너지로 방출하는 전압 발생구간이 길어지면 기계적 진동이 야기되어 신호가 발생하지만 짧으면 신호가 발생하지 않는다. 그리고 박막 센서 물질의 길이 및 폭이 길어지면 자기공명 주파수가 낮아지는 경향을 보이고 있다.

#### 감사의 글

이 논문은 한국과학재단(R01-1997-000-00048-0) 및 서울대학교 반도체공동연구소의 공동시설 이용지원 프로그램(2000년)의 지원을 받아 연구되었음의 연구비 지원으로 수행되었으며 지원에 감사 드립니다.

#### 참고문헌

1. C. K. Kim and R. C. Ohandley, Metallurgical and Materials Transactions A, 27A, 3203 (1996).
2. Michael Pottenger, Beverley Eyre, Ezekiel Kruglick and Gisela Lin, "MEMS-THE MATURING OF A NEW TECHNOLOGY", Solid State Technology, 40(9), 89 (1997).
3. Quanbo Zou, Huikai Xie, Changqing Zhan and Litian Liu, Solid State Technology, S33 (1997).
4. J. Ahn, K. Suzuki, S. Tsuboi and Y. Yamashita, "Ultrahigh-Vacuum Electron Cyclotron Resonance-Plasma Chemical Vapor Deposited SiN<sub>x</sub> Films for X-Ray Lithography Mask Membrane: As-Deposited Properties and Radiation Stability", Jpn. J. Appl. Phys, 33, 6908 (1994).
5. 이태호, 정창영, 이규한, 이승윤, 안진호, "실리콘 질화막을 이용한 x-ray lithography 마스크 크롬 박막 물질의 개발". 한국재료학회지, 7(5), 417 (1997).
6. Misao Sekimoto, Hideo Yoshihara and Takashi Ohkubo, "Silicon nitride single-layer x-ray mask", J. Vac. Sci. Technology, 21(4), 1017 (1982).
7. 김경석, 고중규, 임승택, 박성영, 이승윤, 안진호, "Micromachining을 이용한 초소형 자왜 센서 제작공정 연구", 마이크로전자 및 패키징학회지, 6(1), 81 (1999).