

Micromachining을 이용한 초소형 자왜 센서 제작공정 연구

김경석 · 고종규 · 임승택 · 박성영 · 이승윤 · 안진호

한양대학교 재료공학과
서울특별시 성동구 행당동 17

Fabrication process for micro magnetostrictive sensor using micromachining technique

Kyoung-seok Kim, Joong-kyu Ko, Seung-taek Lim, Sung-young Park, Seung-yoon Lee, Jinho Ahn

Department of Materials Engineering, Hanyang University
17 Haengdang-dong, Seongdong-gu 133-791 Seoul, Korea

(1999년 2월 13일 접수, 1999년 3월 30일 게재승인)

초 록 : Micromachining을 이용하여 기존의 전자 물품 감시에 사용되는 자기공명센서의 소형화 공정을 연구하였다. 설계한 구조는 Free Standing Membrane형과 Diving Board형의 두 가지이며 각각에 대해 적합한 공정 조건을 수립하고 실제로 그 구조를 형성해 보았다. 멤브레인형의 경우는 센서 모양을 여러 가지 형태로 쉽게 바꿀 수 있는 반면에 그 크기가 실리콘 기판의 두께에 의존하여 소형화하는데 한계가 있었으며 다이빙 보드형의 경우 소형화에도 유리하고 센서의 자기변형이 보다 자유로운 구조였다. 실리콘 질화막은 일반 반도체 공정에서의 조건보다 Si의 함량을 크게 하여 열처리 없이도 저응력의 박막형성이 가능하였으며 탄성계수 값이 크지 않아 센서 부분의 자기변형을 크게 구속하지 않아 센서물질의 지지층으로 유리한 물질이었다. 또한 스퍼터링으로 증착된 텅스텐은 자성 센서 물질로 연구되고 있는 Fe-B-Si물질에 대한 식각 선택도가 높아 구조 형성 공정 중 보호 층으로 사용된 후 제거될 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 지지층으로 실리콘 질화막을 사용하고 보호층으로 텅스텐 박막을 사용한 다이빙 보드형 구조가 전자 물품 감시(EAS)용 센서의 소형화에 유리 할 것으로 생각된다.

Abstract : The fabrication process for miniaturizing the Electronic Article Surveillance (EAS) sensor was studied using micromachining technique. Two types of sensor structure, free standing membrane type and diving board type, were proposed and researched for establishing the fabrication process. The membrane type structure was easy to change the sensor shape but had the limitation for miniaturizing, because the size of the sensor depends on the silicon substrate thickness. The diving board type structure has the advantage of miniaturization and of free motion. Since the elastic modulus is not too high, SiN film is expected to be adequate for the supporting membrane of magnetic sensor. The selectivity of H_2O_2 for sputtered W with respect to Fe-B-Si, which was studied for magnetic sensor materials, was high enough to be removed after using as a protection layer.

Therefore, the diving board type process using the silicon nitride film for the supporter of the sensor material and the sputtered W for protection layer is expected to be useful for miniaturizing the Electronic Article Surveillance (EAS) sensor.

1. 서 론

재료의 자기 변형 특성을 이용하여 물류의 감시와 통제에 사용되는 전자 물품 감시(EAS: Electronic Article Surveillance)용 자기공명 센서는¹⁾ 선진 외국의 경우 도서관, 백화점, 슈퍼마켓 등에서 이미 일반화 되어 있는 상태이고 국내에서도 그 이용이 최근 급속히 확대되기 시작했다. 그러나 기

존에 사용되고 있는 센서는 그 크기가 커서 포장재의 크기가 불필요하게 커져서 물류의 경제성을 저하시킬 뿐만 아니라 포장재에 의한 환경 문제를 야기할 수 있다. 또한 반도체 칩과 같은 소형의 고가 물품에 적용하기에는 어려움이 있다. 만약 이러한 센서의 크기를 소형화하게 되면 불필요한 포장물 줄일 수 있을 뿐만 아니라 반도체 칩의 경우 칩의 일부분으로 제조 과정에 직접 포함되도록 하여 보

다 효율적이고 경제적인 물류 제어 효과를 얻을 수 있을 것이다.

Micromachining 기술은^{2,3)} Microelectronics의 핵심인 집적회로 가공 기술을 이용하여 2차원 및 3차원의 초미세 구조를 구현하는 기술을 말하는 것으로 80년대 초반의 스프링, 캔틸레버 등의 미세기계 요소를 필두로 하여 1990년대에 이르러서는 센서, 논리회로 및 액츄에이터가 집적화 된 Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)로 발전되고 있다. 마이크로 머시닝 기술들로는 반도체 가공 기술을 이용하여 2차원 및 3차원의 미세 구조를 가공하는 Bulk-micromachining과^{3,4)} Surface micromachining이⁵⁾ 있고 lithography, electroplating, molding의 세가지 방법을 복합하여 미세 구조물을 대량 생산 할 수 있는 LIGA (Lithographie, Galvanoformung, Abformung)^{3,6)} 공정이 있고 그 외에도 Single point diamond machining과 Electro-discharge machining⁷⁾ 등의 여러 가지 기술이 있다. 마이크로 머시닝은 초 정밀 패턴 형성을 통한 소형화, 고성능화, 다기능화와 함께 집적 시스템(센서, 논리회로, 액츄에이터의 일체화)의 구현이 가능하여 조립 필요성이 감소되며, 일관된 작업공정으로 대량 생산이 가능하다.

본 연구에서는 이와 같은 마이크로 머시닝 기술을 이용하여 기존의 물류 유통 제어에 쓰이는 자기공명 센서의 소형화를 위해 먼저 두 가지 형태의 구조를 설정하고 각각의 제조 공정과 구조 형성에 적용 가능한 물질, 그리고 적합한 공정 조건을 찾는 실험을 수행하였다.

2. 센서 구조 제작

초소형 자기공명 센서로 사용되기 위해서는 그 구조가 자성 재료의 변형에 지장을 주지 않으면서도 자성 물질의 기본 형태가 유지될 수 있고 소형화에 유리한 구조여야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위한 구조로서 본 실험에서는 멤브레인형과 다이빙 보드형의 두 가지 구조를 설정하였다. 멤브레인형 구조는 양면에 멤브레인 물질이 증착된 Si 기판을 이용하여 실리콘 기판의 뒷면으로부터 식각해 들어가서 얇은 멤브레인을 형성하고 그 멤브레인 위에 자성 센서 물질이 형성되어 자유스러운 변

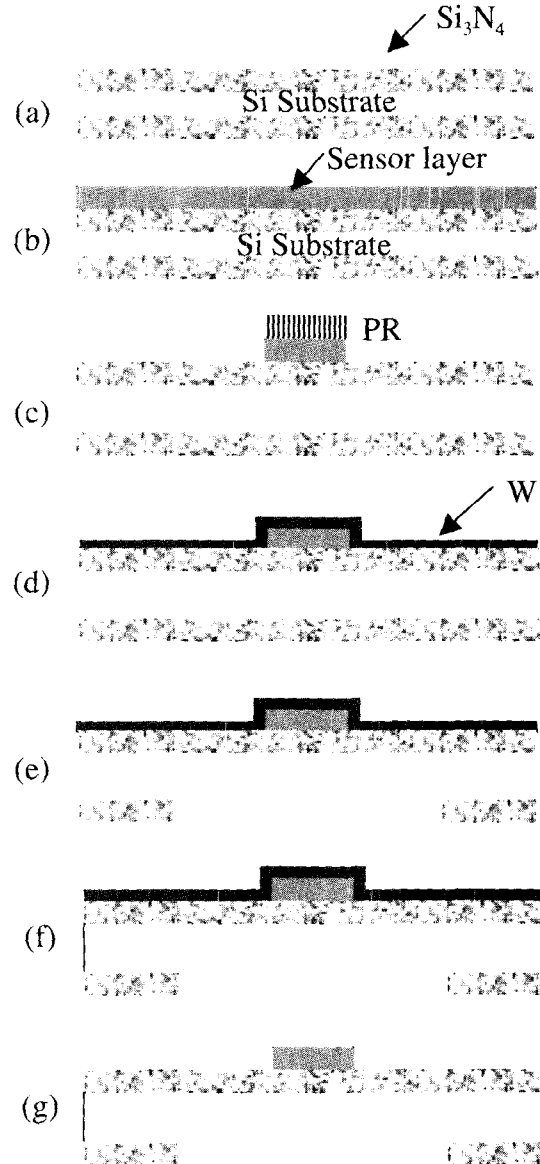


Fig. 1. Free standing membrane type process

형이 되도록 하는 구조이며 다이빙 보드형 구조는 실리콘 기판의 앞면으로부터 식각해서 중앙 기둥을 중심으로 양쪽으로 다이빙보드 형태로 캔틸레버(cantilever)를 형성하고 그 위에서 자성 센서 물질이 자유스러운 변형을 일으키도록 하는 구조이다. 각각의 구조에 대한 기본적인 제작 공정은 그림 1과 2에 표시되어 있다.

그림 1의 멤브레인형 구조의 제작공정은 먼저 (100) 실리콘 기판에 실리콘 질화막(SiN)을 양면

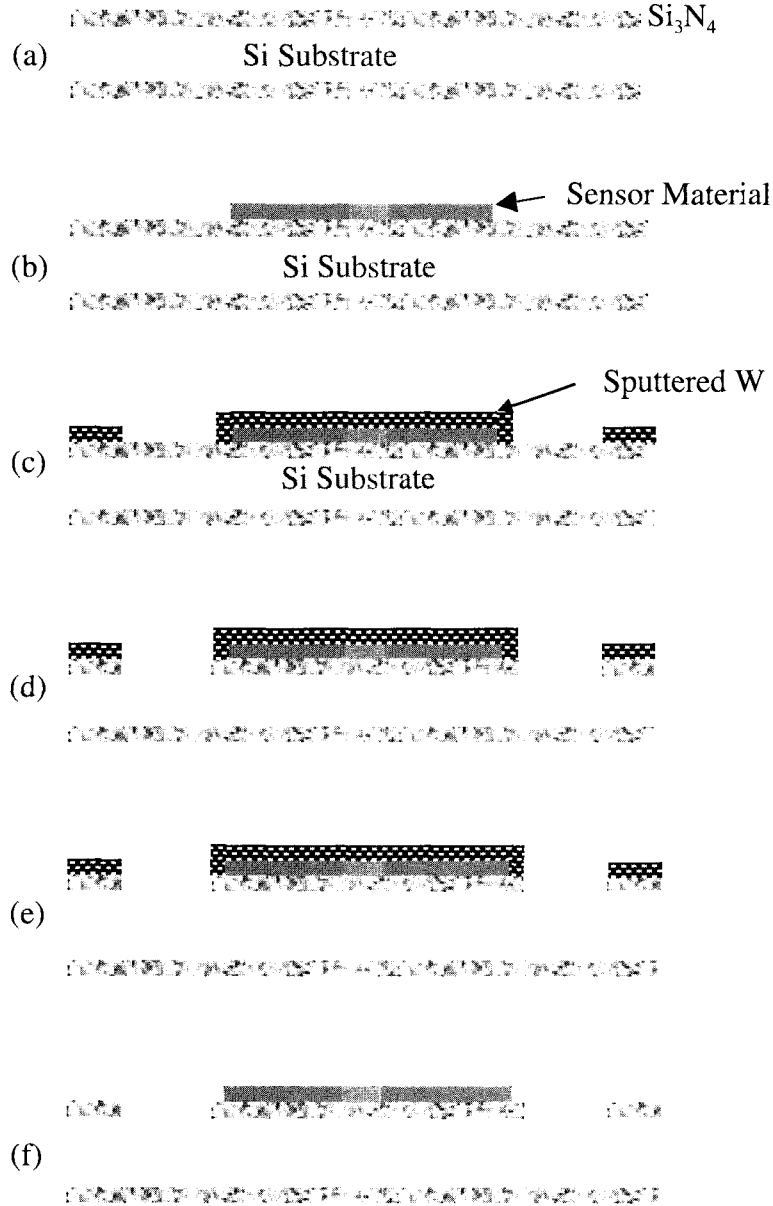


Fig.2. Diving board type process

증착하고 그 위에 자성센서 층을 스퍼터링 증착하여 패턴 형성한 후 보호층으로 텅스텐을 증착한다. 그리고 멤브레인 형성을 위해 뒷면의 실리콘 질화막을 정사각형의 형태로 식각 해낸 후 KOH로 뒷면으로부터 실리콘을 Back etching한다. 실리콘 식각으로 멤브레인이 형성되면 자성센서 패턴을 보호하고 있던 텅스텐을 최종적으로 제거하여 구조

를 완성한다.

그림 2의 다이빙 보드형 제작공정도 역시 (100) 실리콘 기판에 실리콘 질화막을 양면 증착한 후 그 위에 자성센서 층을 증착하여 패턴 형성한다. 그리고 텅스텐 보호층을 입혀 패턴 형성하고 실리콘 질화막을 똑같은 형태로 패턴 형성한다. 그런 다음 노출된 실리콘 부위를 앞면으로부터 KOH로 식각

해내어 다이빙 보드를 형성하고 텅스텐 보호층을 제거하여 구조를 완성한다.

3. 실리콘 질화막 증착 및 특성 분석

자기 공명 센서의 멤브레인으로 사용하기 위한 물질은 적당한 탄성계수를 가져서 센서물질을 지지하면서도 떨림을 자유롭게 할 수 있어야 하고 자성 물질의 정확한 패턴 형성을 위해 표면 평활도가 좋아야 하며 건식, 습식 식각에 대한 화학적 안정성을 가지고 있어야 한다. 또한 자성센서의 자기적 역할에 영향을 미치지 않도록 비자성 물질이어야 한다. 이러한 요건을 만족하는 물질로서 본 연구에서 사용한 것은 SiN으로 멤브레인 형성과 잔류응력 조절이 용이하고 기존의 MOS 공정에서 얻은 풍부한 경험을 바탕으로 비교적 쉽게 증착, 패턴할 수 있는 물질이다. 실리콘 질화막이 멤브레인으로 사용되기 위해서는 0에 가까운 인장 잔류응력을 가지고 있어야 하는데 그 이유는 박막이 압축 잔류응력을 가질 경우 Membrane을 형성하게 되면 처지거나 주름이 잡히게 되어 쉽게 깨지거나 후속공정이 어렵고 또한 과도한 인장 응력 역시 멤브레인이 깨지는 원인이 되기 때문이다. 실리콘 질화막의 증착은 ECR plasma CVD를 이용하였으며 SiH₄와 NH₃를 원료 가스로 하여 그 혼합비 변화와 증착 온도 변화에 따른 잔류응력 변화를 알아 보았다. 박막의 잔류응력 측정은 박막 증착 전·후의 기판의 곡률 변화를 이용하는 Stoney식⁸⁾을 사용하였으며 증착 온도에 따른 결과는 그림 3에, 원료가스의 혼

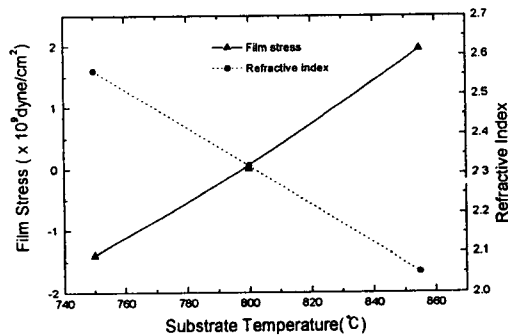


Fig. 3. SiN_x film stress and refractive index as a function of the substrate temperature

합비에 따른 실험 결과는 그림 4에 나타내었다. 증착 온도가 증가함에 따라 박막의 잔류응력은 압축 응력에서 인장 응력으로 변하고 있으며 굴절률 (refractive index)은 감소하는 것을 볼 수 있는데 이것은 온도가 증가함에 따라 실리콘 질화막 내의 수소 함량 감소와 SiH₄의 분해 속도보다 NH₃의 분해속도가 더 빨라져서 박막내의 Si/N비가 커지기 때문으로 설명 된다^{9,10)}. 그리고 원료가스 중의 SiH₄ 양이 증가함에 따라 박막의 잔류응력은 인장에서 압축 응력으로 서서히 바뀌고 있으며 굴절률은 증가하는 것을 볼 수 있다. 저응력의 실리콘 질화막 증착을 위한 적정 조건은 800°C에서 원료가스 중의 SiH₄ 비는 33.8%였다.

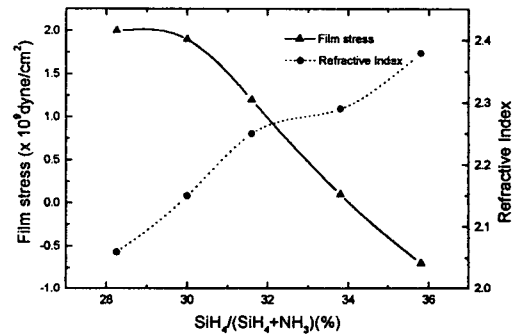


Fig. 4. Silicon nitride film stress and refractive index as a function of the gas flow ratio

이와 같은 조건으로 증착된 실리콘 질화막의 기계적 강도를 평가하기 위해 Load-deflection법¹¹⁾을 사용하였는데 그 기본적인 원리는 얇은 멤브레인에 가해진 응력에 의해 생기는 변위(deflection)를 측정하여 아래와 같은 관계식에 의해 Young's modulus를 계산해내는 것이다.

$$\left(\frac{Et}{a^4}\right)d^3 + \left(\frac{1.66t\sigma_0}{a^2}\right)d = 0.547p$$

여기서 P는 가해진 응력, E는 탄성계수, t는 박막의 두께, d는 박막의 변위, σ₀는 박막의 잔류 응력이고 2a는 멤브레인 창(window)의 한 변의 길이이다. 위 관계식에 따르면 변의 길이 2a가 클수록 응력에 의한 변위 값 d도 커지게 되고 이 d값에 대해 잔류 응력은 linear term, 탄성계수는 cubic term으로 나타난다. 따라서 탄성계수는 변의 길이가 큰

샘플일수록 더 정확한 값을 얻어 낼 수 있다. 측정을 위한 시편은 먼저 실리콘 웨이퍼에 실리콘 질화막을 형성하고 뒷면을 윈도우 형태로 패터닝한 후 KOH로 실리콘을 식각 해냄으로써 멤브레인을 형성하여 완성하였다. 이때 멤브레인의 두께는 1 μ m였고 탄성계수를 구하기 위해 변의 길이는 4.6mm로 크게 하였다. 그림 5는 그 측정 결과로 일반적인 load-deflection data와 마찬가지로 박막에 가해지

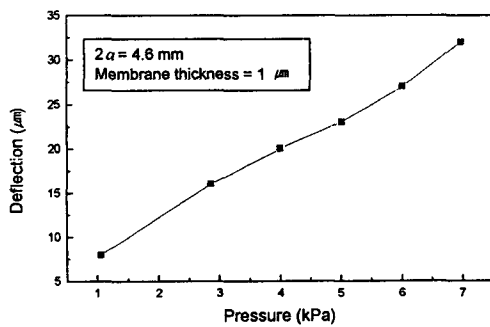
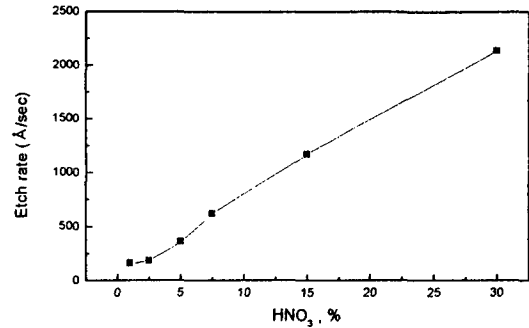


Fig. 5. Load-deflection curve of silicon nitride film

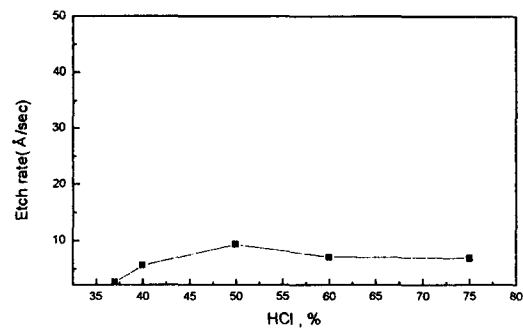
는 압력이 증가함에 따라 박막의 변위는 증가함을 알 수 있다¹¹⁾. 이와 같은 결과 그래프를 이용하여 계산해낸 실리콘 질화막의 탄성계수는 154.4 \pm 0.5GPa로 이론 값인 155GPa에 근접하는 값을 가짐을 알 수 있었다.

4. Fe-B-Si와 실리콘 질화막의 식각 특성

Magnetostriction 특성을 갖는 Fe-B-Si박막¹²⁾을 5000 \AA 두께로 스퍼터링 증착한 이후, 소형 센서 구조의 형성을 위해 질산(HNO_3)과 염산(HCl)용액 내에서의 식각 실험을 하였다. 그 결과가 그림 6에 나타나 있다. 두 가지 용액에서의 etch rate를 보면 질산의 경우 용액내의 질산 함량이 증가할수록 식각 속도가 점차 증가하고 있는데 반해 염산의 경우는 용액내의 염산 함량 변화에 따른 식각 속도의 변화가 그다지 크지 않고 식각 속도도 느려짐을 알 수 있다. 염산은 주로 Fe산화물의 식각에 이용되고 질산은 주로 자성 재료로 연구 되어 지고 있는 Fe-Co 계열의 물질 식각에 이용되는 것으로 알려져 있으며¹³⁾ 본 실험에서도 적절한 식각 속도를 보이는 것으로 보아 질산에 의한 Fe-B-Si의 식각



(a) Fe-B-Si etch rate for Nitric acid %



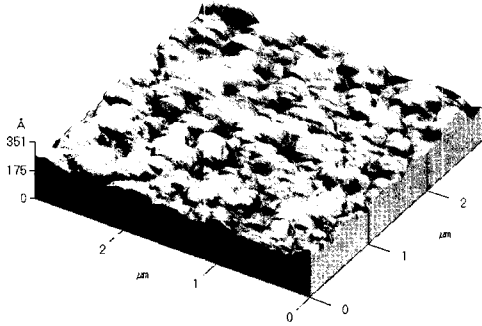
(b) Fe-B-Si etch rate for Hydrochloric acid %

Fig. 6. Fe-B-Si etch rate with nitric acid and hydrochloric acid

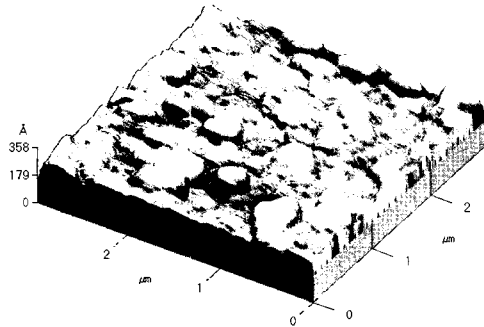
이 훨씬 유리할 것으로 기대된다.

실리콘 질화막의 패터닝(pattern) 형성을 위해 ECR(Electron-Cyclotron-Resonance)-Plasma Etcher를 사용하여 건식식각하였으며 원료 가스로는 SF_6 를 12sccm, Ar을 3sccm 씩 흘려주었다. 본 연구에서는 마이크로 웨이브 파워는 1000W, 상부 마그네틱은 150A, 하부 마그네틱은 100A, 공정 압력은 10mTorr로 고정하고 rf-power만을 변화 시켜가며 식각 조건을 조사한 결과 전반적으로 실리콘 질화막에 대한 식각 속도 보다 감광제에 대한 식각 속도가 더 빨랐으며 rf-power 증가에 따라 식각 속도의 증가를 보였다. 따라서 감광제의 두께를 늘리기 위해 스피ن 코팅시의 회전속도를 변화시켜 두께 변화를 알아보았는데 최적의 조건은 1차 회전 속도는 500rpm, 시간은 15초이고, 2차 회전 속도는 2000rpm에서 30초였다. 그 때의 감광제 두께는 2.03 μ m를 나타내었고 코팅의 균일성도 우수하였다.

실리콘 질화막의 식각 후에 마스크로 사용되고



(a) Silicon nitride roughness before O₂-plasma exposure(rms 26.2 Å)



(b) Silicon nitride roughness after O₂-plasma exposure(rms 28.9 Å)

Fig. 7. Surface morphology of silicon nitride film before and after O₂-plasma exposure

나서 남아 있는 감광제를 제거하기 위해서 산소 플라즈마를 사용하는데 이때 실리콘 질화막에 어떤 영향을 미치는지 조사하기 위해 10mTorr에서 5분간 산소 플라즈마에 노출 시킨 후 Atomic force microscope(AFM)를 사용하여 그 표면 평활도(rms roughness)를 조사해 보았다. 그림 7은 산소 플라즈마에 실리콘 질화막을 노출하기 전과 후의 표면 평활도와 표면 형태를 나타낸 것으로 표면 평활도는 거의 차이가 없었으며 표면형태도 비슷한 형태를 나타내었다.

5. 텅스텐 보호층 증착 및 식각 특성

텅스텐은 실리콘 식각시 사용되는 KOH에 대한 식각 속도가 0으로 알려져 있으므로¹⁴⁾ 실리콘 질화

물 위에 형성된 자성 센서 물질을 보호하고 나중에 다시 제거되기 위한 보호층으로서 본 연구에 도입되었다. 보호층으로 사용할 텅스텐 박막의 경우 상대적으로 불안정하고 구조적으로 연약한 상태인 맴브레인이나 다이빙 보드 형성 후에도 남아 있다가 실리콘 식각이 완전히 끝나고 나서야 제거된다. 이로 인해 약간의 잔류응력에 의해서도 구조물 자체의 변형이나 파괴를 가져올 수 있으므로 응력 조절이 매우 중요하다. 텅스텐 박막의 증착은 DC magnetron sputtering system을 사용하였으며 텅스텐 박막의 응력조절을 위해 DC power를 400W로 고정하고 증착 압력을 변화시켜서 적정 응력조건을 찾는 실험을 하였다. 그림 8의 작동 압력 증가에 따른 잔류응력 곡선을 보면 텅스텐 박막의 잔류응력

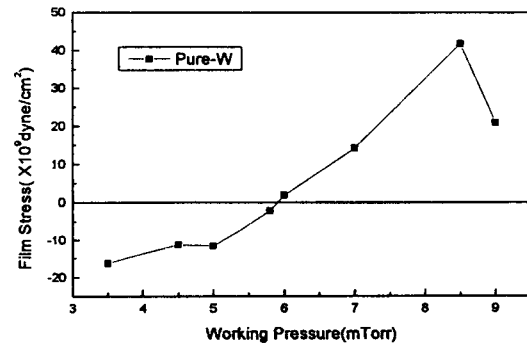


Fig. 8. Sputtered W film stress as a function of working pressure

은 증착 압력 6mTorr 부근에서 0에 가까운 값을 나타내었으며 일반적인 스퍼터링(sputtering) 박막의 경우처럼 증착 압력의 증가에 따라 압축응력에서 인장응력으로 변하는 것을 볼 수 있었다. 낮은 증착 압력에서 압축응력을 나타내는 원인은 스퍼터링 가스의 평균 자유행로 증가로 인한 atomic peening effect¹⁵⁾ 때문이며 증착 압력 증가에 따라 인장응력을 나타내는 원인은 columnar grain boundary에 작용하는 interatomic force¹⁶⁾ 때문인 것으로 알려져 있다. 그리고 높은 증착 압력에서 인장 응력이 감소하는 원인은 open grain boundary¹⁷⁾ 때문인 것으로 알려져 있다. 그림 8의 결과에 의해 텅스텐 박막의 저응력 증착은 DC power 400W, 6mTorr에서 실행 되었다.

텅스텐이 보호층으로 쓰인 후 H₂O₂로 제거 될 때

에 센서부위도 같이 노출 될 수 있으므로 이에 대한 식각 선택도를 조사하였다. 온도 20℃의 과산화수소에 대해서 텅스텐의 식각 속도는 256Å/min 인 반면에 Fe-B-Si의 경우는 8.1Å/min으로 텅스텐의 식각 속도가 31.6배 빨랐다. 이것은 텅스텐 보호층이 제거되고 over-etching되어 자성 센서 층이 노출 된다고 하더라도 거의 attack을 받지 않음을 알 수 있는 결과이다.

6. 완성된 구조

그림 9과 10은 이러한 공정들을 거쳐 완성된 두 가지 형태의 센서를 찍은 사진으로 센서 부위는 두 가지 모두 폭100µm, 길이 1mm의 막대형태를 이루고 있다. 그림 9(d)의 멤브레인형의 사진을 보면 실리콘의 이방성 식각 특성⁹⁾ 때문에 sloped sidewall이 나타난 것을 볼 수 있는데 이 구조의 크

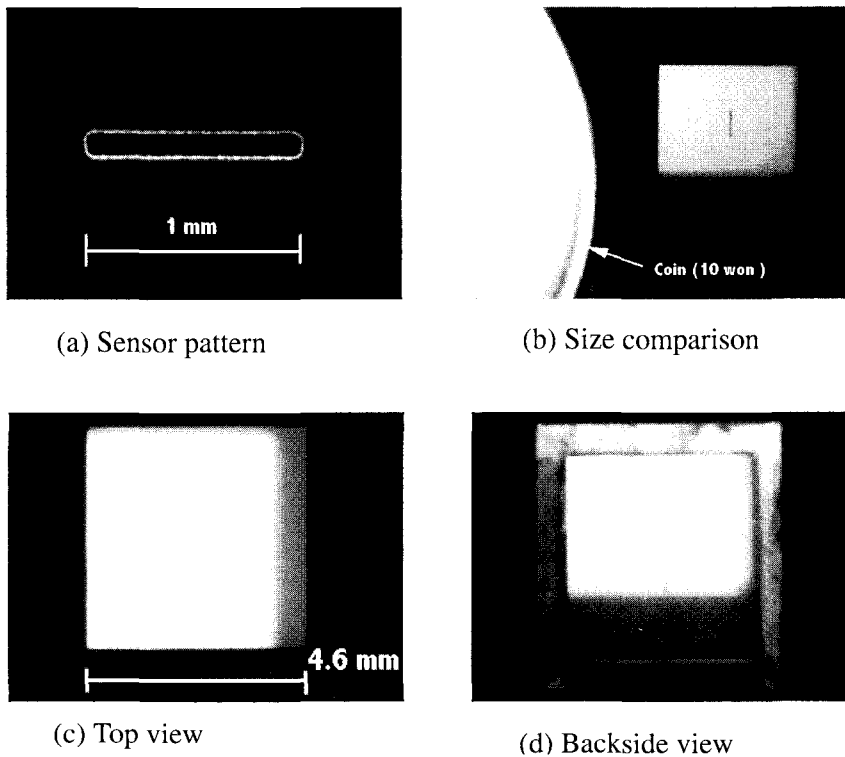


Fig. 9. Fabricated membrane structure

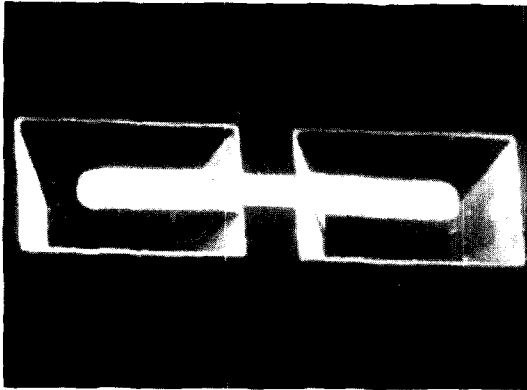
기는 실리콘 웨이퍼의 두께에 의존한다. 즉 웨이퍼의 두께가 1mm이면 웨이퍼 면에 수평 방향으로 약 0.706mm 정도 줄어들게 되므로 결국 사각형의 윈도우의 한 변의 길이가 1.4mm씩 줄어들게 된다. 이 때문에 멤브레인형 센서의 크기는 웨이퍼의 두께가 1mm일 때는 1.4mm이하로 만들 수 없게 된다. 즉 실리콘 기판의 두께가 멤브레인형 자성센서의 크기를 제한하는 요소가 된다. 그리고 멤브레인형 구조는 양면을 패터닝 해야 하기 때문에 양면 aligner를 사용하지 않고는 정확한 양면 정렬이 어

려웠다. 공정 자체는 단순하고 멤브레인 형성 기술은 많이 사용되고 있는 기술이므로 쉬웠지만 멤브레인 형성을 위해 기판 전체 두께를 모두 식각 해야 했기 때문에 많은 시간이 소요되었다. 그러나 센서의 형태를 직사각형 멤브레인 위에 어떠한 모양으로든 쉽게 만들 수 있는 이점이 있어 센서 형태 변화에 따른 작동성 향상을 꾀할 수 있을 것으로 생각한다.

그림 10은 완성된 다이빙 보드형 구조의 SEM 사진으로 그 3차원 구조를 명확하게 관찰할 수 있



(a) Top view



(b) Angled view

Fig. 10. SEM image of diving board structure

다. 다이빙 보드형은 소형화 하기에 적합한 구조를 가지고 있었으며 surface micromachining 기술을 사용하기 때문에 기존의 다층 구조 패턴 형성에 쓰이는 정렬 마크를 그대로 적용할 수 있었고 캔틸레버를 형성할 수 있을 정도로만 실리콘 식각을 하면 되었으므로 시간을 더 단축 할 수 있었다. 하지만 구조 자체의 자유스러움 때문에 소형화 하게 되면 잔류응력의 영향이 더 커지게 되므로 더욱 정확한 박막의 응력 조절이 필요하게 된다. 그리고 센서 부위가 좁은 기둥으로 지지 되기 때문에 상대적으로 길이 대 폭의 비가 큰 형태나 복잡한 형태의 제작은 어려울 것으로 보인다.

7. 결 론

전자 물품 감시에 쓰이는 자기 공명 센서를 소형화 하기 위해 마이크로 머시닝 기술을 이용하여 멤브레인형과 다이빙 보드형의 두 가지 구조를 설정하고 각각의 구조에 적합한 공정 조건을 알아 보았다. 멤브레인형 구조는 센서 형태를 다양하게 만들 수 있는 구조 였지만 그 크기가 실리콘 기판의 두께에 의존하여 소형화에는 어렵고 노광 공정 중 정렬 마크를 사용할 수 없는 양면 정렬이 필요하여 정확한 패턴 형성이 어려운 단점이 있었다. 반면에 다이빙 보드형은 소형화에도 유리하고 양면 정렬이 필요 없어서 전자 물품 감시용 자성 센서를 소형화 하는데 적합한 구조임을 알 수 있었다. ECR plasma CVD로 증착한 실리콘 질화막은 원료 가스 혼합비와 증착 온도 변화만으로도 잔류응력 조절이 가능했으며 이론 값에 가깝고 적절한 탄성계수를 나타내어 센서 물질의 지지층으로 사용 가능했으며 실리콘의 식각 마스크로도 사용되었다. 스퍼터링 증착 된 텅스텐과 자성 센서 물질로 연구되고 있는 Fe-B-Si과의 H_2O_2 에 대한 식각 속도 비교 결과 텅스텐의 식각 속도가 31.6배 빨라 보호 층으로 사용되고 난 후 쉽게 제거될 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 지지 층으로 실리콘 질화막을 사용하고 보호 층으로 텅스텐 박막을 사용하여 완성한 다이빙 보드형 구조가 EAS용 센서의 소형화에 유리 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. C.K.Kim and R.C.O'Handley, Metallurgical and Materials Transactions A, **27A**, 3203 (1996)
2. Michael Pottenger, Beverley Eyre, Ezekiel Kruglick, Gisela Lin, Solid State Technology, 89(1997)
3. Quanbo Zou, Huikai Xie, Changqing Zhan, Litian Liu, Solid State Technology, S33 (1997)
4. A.W. van Herwaarden, D.C. van Duijn,

- W. van Oudheusden and P.M. Sarro, Sensors and Actuators, **A21-A23**, 621(1990)
5. R.T.Howe, R.S.Muller, Solid State Science and Technology, **103(6)**, 1420(1983)
 6. J.Mohr, P.Bley, C.Burbaum, W.Menx and U.Wallrabe, Proc. 6th Int. Conf. On solid-state Sensors and Actuators. San Francisco, CA. USA. June 24-28, 607(1991)
 7. T.Masaki, K.Kawata and T.Mauzawa, Proc. IEEE Micro Electro Mechanical Systems Workshopl Napa. CA. USA. June 24-28, 21(1990)
 8. Milton Ohring, "The Materials Science of thin films", Academic press, INC., p416~418(1992)
 9. Jinho Ahn, Katsumi Suzuki, Shinji Tsuboi and Yoshio Yasmashita, Jpn. J.Appl. Phys., **33**, 6908(1994)
 10. Misao Sekimoto, Hideo Yoshihara and Takashi Ohkubo, J.Vac. Sci. Technol., **21** (4), 1017(1982)
 11. Mark G.Allen, Mehran Mehregany, Roger T.Howe and Stephen D.Senturia, Appl. Phys. Lett., **51(4)**, 241(1987)
 12. C.K.Kim, Materials Science and Engineering, **B39**, 195(1996)
 13. Perrin Walker, William H.Tarn, "CRC Handbook of Metal Etchants", CRC Press, Inc.(1991)
 14. Kirt R.Williams and Richard S. Muller, Microelectromechanical Systems, **5(4)**, 256 (1996)
 15. J.A.Thornton, J.Vac. Sci. & Technol., **11**, 666(1974)
 16. Masamitsu Itoh, Masaru Hori, and Soichi Nadahara, J. Vac. Sci. & Technol, **B9(1)**, 149(1991)
 17. H.K. Pulker and J.Maser, Thin Solid Films, **59**, 65(1979)