

정전기력을 이용한 마이크로가속도계 센서의 마이크로머시닝 공정 해석

Analyses of Micromachining Processes for Microaccelerometer Sensors Based on Electrostatic Forces

여수대학교
기계·자동차공학부
김옥삼

Abstract

Single crystal silicon (SCS) is used in a variety of microsensors applications in which stresses and other mechanical effects may dominate device performance. The authors model temperature-dependent mechanical properties during focused ion beam(FIB) cutting and Pt deposition processes. In microaccelerometer manufacturing process, this paper intend to find thermal displacement change of the temperature by tunnel gap, additional beam part and Pt deposition. The thermal analysis intend to use ANSYS V5.5.3.

1. 서론

최근 기술선진국의 자동차업체에서는 첨단기술을 기반으로 한 자동차용 전자기능 시스템을 개발함으로써 국제 자동차시장에서 자사제품의 경쟁력 강화와 함께 부가가치의 극대화를 동시에 꾀하고 있다. 최근 관심이 고조되고 있는 대표적인 전자기능시스템(automotive electronics function system)으로는 에어백(airbag), 전자식 엔진제어 시스템, 고성능 제동시스템(ABS), 전자식 현가(suspension)시스템 등을 들 수 있다.¹⁾ 이들

전자기능 시스템의 효과적인 작동과 성공적 실현을 위해서 자동차 운행상태 및 기능 시스템자체의 동작상태에 대한 정확하고 신뢰성 높은 정보를 제공해 줄 수 있는 고성능 마이크로센서 개발이 필수적인 선결과제이다. 마이크로센서는 일반 계측용 센서와 달리, 열악한 환경에서 신뢰성을 유지할 수 있는 고성능센서를 보다 염가로 제조하는데 그 핵심이 있다. 물리량 감지를 위한 미세구조물(microstructures)과 감지신호의 보정, 증폭, 처리를 위한 전자회로를 동시에 제작, 하나의 칩(chip)으로 집적시킨 반도체 직접센서의 개발은 센서의 소형화, 다기능화, 고성능화와 함께 제작경비의 저렴화²⁾를 동시에 이룰 수 있다.

마이크로센서 제작기법은 일반 기계적 가공기기를 사용할 수 없으므로 근래에 실리콘 재질을 이용한 미세제작기술을 연구하고 있다. 마이크로메카니즘에서는 이론상 해석뿐만 아니라 기하학적인 설계시에도 재질과 제조공정이 적합해야 한다. SOI(silicon on insulator) 웨이퍼를 이용한 마이크로가속도계 센서의 제작공정에서 가열에 의한 온도구배와 잔류응력이 발생하고 이로 인한 불량품 현상³⁾이 나타난다.

본 연구에서는 정전기력을 센서의 검침력으로 이용하는 마이크로가속도계 센서의 제작공정에서 발생하는 돌출현상(popping up phenomenon)과 같은 불량을 감소시키기 위하여 제작공정에 조건변화를 주어 변형의 정도를 감소시키는 조건을 탐색하고자 하는데 목적이 있다.

2. 마이크로머시닝 공정

2.1 마이크로가속도계 센서 제작과정

정전기력을 검침력으로 이용하는 마이크로가속도계 센서의 형상은 Fig. 1과 같고 제작방법에는 기판 위에 막을 입히는 막형성과정, 그 표면에 마스크 패턴을 현상 및 인화과정, 그 표면에 마스크 패턴복사과정, 복제된 패턴을 바탕으로 에칭에 의해서 불필요한 부분을 제거하는 공정도 있다.

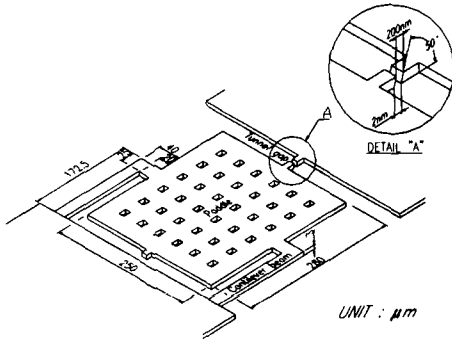


Fig. 1 Schematic view of microaccelerometer

그리고 열처리나 다른 종류의 원자의 도핑(doping)등으로 성질을 바꾸는 과정도 있고, 마이크로 가속도계 센서에서 센서역할을 하는 터널갭(tunnel gap)부분을 만들기 위하여 집속 이온비임⁴⁾(focused ion beam, FIB) 절삭가공을 이용한다. 집속이온 비임을 이용한 절단과 백금적층(Pt deposition)에서 사용되는 열에 의해서 발생하는 온도구배 및 잔류열응력으로 불량품 현상이 나타나는 것으로 추정된다. 마이크로가속도계의 제작공정을 자세히 설명하면, Fig. 2와 같이 실리콘 질화층 layer는 실리콘 layer의 가장 윗부분에 위치한다. photoresist는 실리콘에서 제작하고자 하는 형상을 에칭하며실리콘 질화층은 마스크에 주어진 형상대로 에칭될 때 사용된다. 실리콘 질화층의 에칭을 끝냈을 때, 검출부분과 지지할 수 있는 cantilever beam부분이 Fig. 1에 보이는



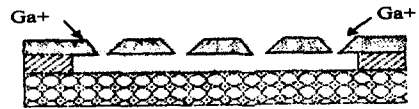
(1) Bonded SOI wafer with SiO₂ masking layer



(2) Patterning of masking layer and anisotropic SCS wet etching



(3) Underetching with oxide etching



(4) FIB milling of additional beam and oblique tunnel gap

Fig. 2 Fabrication steps for the microaccelerometer

것처럼 고정된 부분에 연결된 형상이다.

에칭액을 사용하여 실리콘 layer 밑에 있는 산화층을 제거해서, 기판(substrate)에 언더컷트(undercut)를 함으로서 공간을 확보한다. 에칭으로 재료를 녹여내는 경우, 대상으로 하는 기판이나 막의 표면에 대개는 마스크 재료를 입혀 놓는다. 마스크재료는 사용하는 에칭액 혹은 에칭개스(플라즈마)에 손상되기 어려운 재료를 선택한다. 이방성 에칭공정을 통하여 기계구조물 형상을 가진 터널갭이 만들어진다. 이 갭은 집속이온비임을 이용한 절단에 의해서 약 200nm 갭이 만들어진다. 이 갭은 검출부분과 기판사이에 전정

기력에 의해 집부분 간격이 변화된다. 센서의 제작에는 집속이온 비입(FIB) 절삭가공, 박막성형, 이방성 및 등방성 에칭기술 등의 MEMS (Micro Electronics Mechanical Systems) 제조기법이 사용되어 졌다.

2.2 마이크로머시닝 공정의 불량현상

터널집, 부가 비입(additional beam)부분의 집속이온 비입을 이용한 절단과 Pt 적층시 가열하면 열에 의한 잔류열용력으로 돌출(popping up)현상⁵⁾이 Fig. 3과 같이 발생한다.



Fig. 3 Paddle popping up after FIB cut

이와 같은 불량현상이 나타나는 원인은 제작 공정중에 가열 및 냉각공정에서의 온도차로 열팽창율이 다르게 나타나고 이것으로 내부응력이 작용한다고 생각할 수 있다. 그래서 돌출현상과 제작공정과 관련된성을 찾아보기 위하여 제작공정의 집속이온비입 절단과 백금 적층공정에서 사용되는 열에 변화과정을 조사하였다.

3. 해석과정 및 모델링

3.1 마이크로머시닝의 열적 공정해석

마이크로가속도계 센서의 제작에서 사용하는 가공방법에서는 이온 가공방법이 이용된다. 이온 가공은 수십eV~수백keV의 에너지를 가진 불활성 이온은 고체 표면에 조사한 경우, 이온은 고체 원자와 충돌을 반복하면서 그 속에 침입해서 정류하는 동시에, 고체

의 구성원자가 그 표면에서 진공중에 방출되는 이온바 스퍼터링 현상(spattering phenomenon)을 일으킨다. 스퍼터링 현상은 고체표면을 원자·분자의 단위로 제거하는 제거가공이나 스퍼터된 원자를 대항하는 기판에 부착시키는 부착가공에 이용할 수 있다. 이후 마이크로머시닝 과정에 따른 진행공정은 다음과 같다.

- (1) 터널집 부분을 100℃로 가열해서 패들 전체가 100℃가 되는 시간을 검토한 후, 가열에 의한 변형된 정도를 확인한다.
- (2) 패들을 공기중에 냉각시켜 패들 전체가 25℃가 되는데 소요된 시간을 조사하고, 냉각으로 인한 패들에서 열팽창의 차이로 발생하는 변형량을 조사한다.
- (3) 부가비입 부분을 집속이온 비입으로 절단할 때 발생하는 열을 부가 비입부분에 가하여 준 후 패들 전체가 80℃가 되는 시간을 확인, 열로 인한 변형된 양을 조사한다.
- (4) 패들을 80℃에서 25℃로 냉각시켜 소요시간과 나타나는 변형량을 조사한다.
- (5) Pt 적층에서 사용되는 집속이온 비입으로 발생하는 열을 터널집 부분에 가하여 준 후, 패들 전체가 400℃가 되는 시간을 확인, 열로 인한 변형량을 분석한다.
- (6) 패들을 400℃에서 25℃로 냉각시켜 소요시간과 발생하는 변형량을 조사한다.

3.2 형상 모델링

마이크로가속도계를 유한개의 요소로 모델을 매쉬(mesh)한 형상이 Fig. 4에 나와 있다. 절점수는 1088ea이고, 요소수는 960ea이다. Fig. 5에 주어진 flow chart는 유한요소법의 시뮬레이션 프로그램에서 해석과정을 보여주고 있다.

마이크로가속도 센서의 제조공정에서 터널집, 부가비입의 절단부분과 백금적층의 가열에 의한 열-구조 연성해석 문제로 가정하였다. 변형을 확인하기 위하여 유한요소법을 이용한 상용 소프트웨어인 ANSYS v5.5.3을 사용하였다. ANSYS에서 모델을 형성할 때 자동적인 매쉬분할 프로그램을 사용하였고, 입체적인 요소형상이 아닌

평면적인 요소형상을 사용하고 대신에 real constant 값을 사용함으로써 모델을 형성하고 있는 요소와 절점의 수를 줄였다. 재료의 물성치⁶⁾는 온도해석에서는 가열시에 점성, 열전도계수, 비열 그리고, 냉각시에 열전달계수⁷⁾를 주었다]

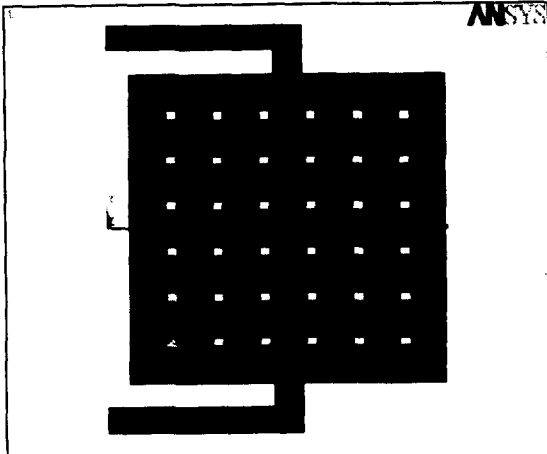


Fig. 4 Model & mesh

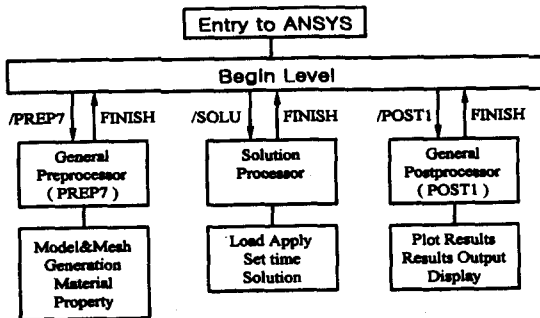


Fig. 5 Flow chart of general analysis processes

4. 해석결과 및 고찰

4.1 FIB를 이용한 터널집의 절단공정

터널집 부분에 100℃로 가열했을 때의 온도분포를 나타낸 그림이 Fig. 6 이다. 온도분포가 터널집 부분을 중심으로 방사형으로 온도구배가 형성되는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 패들이 100℃까지 가열이 완료된 상

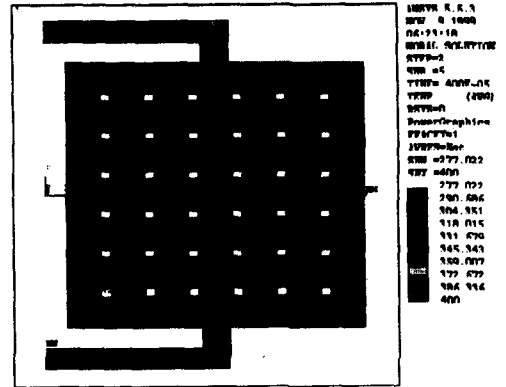


Fig. 6 Temperature distribution by model (25℃→100℃)

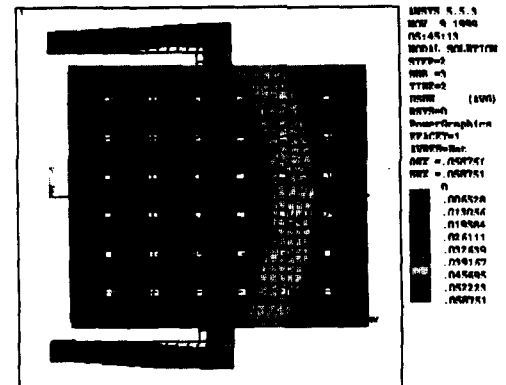


Fig. 7 After heating, the figure of vector distribution (base item)

태에서의 변형량을 나타낸 그림이다. 보이는 바와 같이 cantilever의 끝 부분을 중심으로 방사형으로 변형량이 커지는 것을 알 수 있다. 패들에서 본다면 부가비임 부분에서 터널집 부분까지 변형량이 점차 확대되어 간다는 것을 알 수 있었다.

4.2 FIB를 이용한 부가비임 절단공정

부가비임 부분을 집속이온 비임을 이용하여 절단할 때 패들에 온도가 분포하는 것과 변형량을 확인하고자 한다. Fig. 8은 부가비임 부분을

가열했을 때 부가비임 부분부터 시작점으로 하여 등거리형으로 온도구배가 일어나는 것을 알 수 있다.

4.3 터널갭의 Pt적층 가공공정

백금적층의 가공공정은 터널갭 부분에 400℃로 가열한 공정이다. Fig. 9는 상온(25℃)에서 가열하여 패들 전체가 400℃까지 되는 시간과 온도에 관계 그래프를 나타낸 것이다. 패들 전체가 400℃가 되는데 소요된 시간은 3.25×10^{-5} sec가 소요되었다.

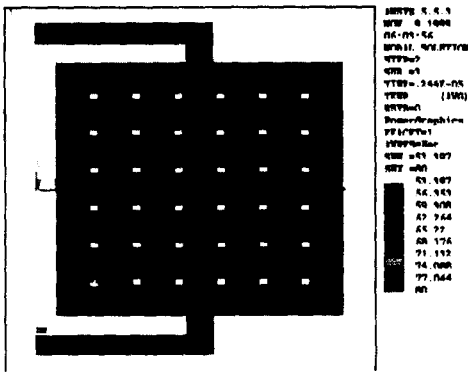


Fig. 8 Temperature distribution by model(25℃→80℃)

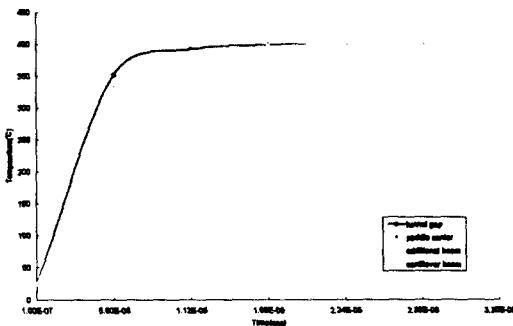


Fig. 9 The graphy of time and temperature relation(25℃→400℃)

5. 결론

SOI 웨이퍼를 이용하여 마이크로가속도계 센서를 제작하는 공정에서 온도구배에 의한 잔류응력의 발생으로 불량인 돌출현상이 나타난다. 잔류응력이 발생하는 원인을 제조공정에서 가열 및 냉각의 온도차이로 가정하고, 터널 전류효과를 기초로 한 마이크로가속도계 센서를 제작하는 공정에서 불량현상의 해석을 시도한 결과 제작공정에서 온도에 변화를 주어서 온도에 의한 잔류응력에 의한 변형정도를 정량적으로 확인하였다. 이와 같이 제작공정에서 기존의 온도보다 온도를 증가시키면, 열변형이 증가하였고, 반대로 온도를 기존온도보다 저하시키면 열변형이 감소한다는 것을 확인하였다. 이러한 결과로 온도와 변형은 정량적인 함수임을 파악할 수 있었다. 그러므로 제작가공에서의 온도를 낮은 온도로 가공을 하면 불량현상이 감소될 것으로 사료된다. 향후 정량적인 기계적 물성치 들을 온도의존성을 고려한 해석적 연구가 필요하다.

참고문헌

- 1) Bryzek J., 1996, "Impact of MEMS Technology on Society," Sensors and Actuators, A56, pp.1~9.
- 2) 조영호, 1992, "미소 기계-전자 집적시스템의 응용과 실제", 대한기계학회지, 제32권, 제7호, pp. 588~603.
- 3) O. S. Kim, S. Yoshimura and G. Yagawa, 1997, "Finite Element Analyses of Residual Stress Causing Popping up of Microaccelerometer Based on Tunneling Current Concept", International Conference on Materials and Mechanics' 97, D0-5A, Tokyo International Conference on Forum, Tokyo, Japan. pp.125~130.
- 4) Young R. J., 1993, "Micro-machining using a Focused Ion Beam." Vacuum, Vol. 44,, pp. 353.
- 5) Ok Sam Kim, 1998, "A Study on the

Thermal Behavior in Microaccelerometer
Manufacturing Processes", KSME
International Journal, Vol. 12, No. 6, pp.
1126~1134.

- 6) Petersen Kurt E., 1982, Silicon as a
Mechanical Materials, Proc. of IEEE.,
Vol. 70 No. 5, pp. 420.
- 7) 金鈺三. 吉村 忍, 矢川元基, 1997, "トンネル
電流原理に 基づくマイクロ加速度センサー
のジュール 発熱および応力解析"日本機械學
會第10回計算力學講演論文集, 97-7 pp.416~
417