

마이크로가속도계의 열응력에 대한 유한요소해석

김옥삼*

Finite Element Analysis for Thermal Stresses of Microaccelerometers

O. S. Kim*

Abstract : This paper deals with finite element analyses of residual stresses causing popping up which are induced in micromachining processes of a microaccelerometers. After heating the tunnel gap up to 100 degree and get it through the cooling process and the additional beam up to 80 degree and get it through the cooling process. We learn the thermal internal stress of each shape and compare the results with each other, after heating the tunnel gap up to 400 degree during the Pt deposition process. We want to seek after the real cause of this pop up phenomenon and diminish this by change manufacturing processes of microaccelerometer by electrostatic force.

Key words : Thermal Stress Analyses(열응력 해석), Microaccelerometer(미소가속도계)

1. 서론

최근 반도체 제작기술 혁신과 직접회로 제작기술을 기반으로 미세 물리량 감지를 위한 미세구조물(microstructures)과 감지신호의 보정, 증폭, 처리를 위한 전자회로를 하나의 칩(chip)으로 구현한 반도체 일체형 센서¹⁾가 등장하였다. 이와 같은 마이크로센서는 소형화, 다기능화, 고성능화와 함께 제작경비의 저렴화를 동시에 이룰 수 있다는 점이 주목받고 있다. 마이크로머시닝(micro machining) 기술은 기계-전자요소의 동시제작을 통해 기계-전자 복합제품의 소형화, 경량화, 다기능화 및 고신뢰도를 이룩한다는 점에서 미래의 핵심기술²⁾이다.

MEMS (MicroEletroMechanical System) 등의 상업용 패키지 코드는 유한요소법(finite element method, FEM) 또는 경계요소법(boundary element method, BEM) 등으로 각종 응력 및 변형량 등의 결과도출³⁾이 아직은 부분적으로 이루어져 있고 있는 실정이다.

마이크로가속도계의 연구는 1991년 미국 Analog Device사에서 개발한 에어백 가속도계로 A close up of the interdigitated sensing element on the airbag accelerometer⁴⁾가 있고, UC-Berkeley에 제작한 A silicon PI-FET accelerometer⁵⁾가 있다. 그러나 실리콘웨이퍼로 제작하는 승용차용 마이크로 가속도센서의 연구개발에는 구조체의 설계과정에서 적층막(depositing layer)과 열산화층(thermal oxide layer)의 기계적·전기적 성질변화 및 잔류응력의 해석⁶⁾이 성능예측의 중요한 요건으로 작용한다. 아울러 정전기력을 이용한 마이크로가속도계 센서의 제조과정시 내부 잔류응력에 의하여 턴널갭(tunnel gap)부분에서 돌출(popping up) 현상이 발생한다.

본 연구는 턴널전류를 검침력으로하는 마이크로 가속도계 센서의 내부 열응력을 해석함으로써 열응력이 최소화 되는 가공조건을 찾고자 함이다. 가공조건에 따른 센서의 패들(paddle), 턴널갭, 부가 비임(additional beam), 캔틸레버 비임(cantilever beam)부위의 본 마이세스(Von-Mises)

* 여수대학교 기계·자동차공학부

응력분포 차이를 비교함으로써 돌출현상이 최소화 되는 제작조건을 모색하려 한다.

2. 유한요소 모델링

2.1 마이크로가속도계의 형상

전자가 자신이 가지고 있는 운동에너지보다 높은 장벽을 투과하는 터널 전류효과(tunnel current effect)의 원리를 이용한 마이크로가속도 센서의 형상 및 치수는 Fig. 1과 같다. 센서의 평판에 있는 36개의 구멍은 패들의 무게를 감소시켜 민감도를 증가시키는 동시에 전극의 기능도 있다. 형상을 대칭으로 설계함으로써 온도 변화시 열팽창의 차이에 의하여 열응력과 점탄성적 성질의 열변형⁷⁾을 최소화하고 다른 축의 감도저감 등 유리한 점이 많다. 패들의 재질은 밀러지수 {1,0,0}면의 실리콘 단결정(Single Crystal Silicon, SCS)⁹⁾이고, 두께는 3 μ m, 기판과 패들의 극판 거리는 4 μ m이며, 실리콘 절연 웨이퍼(Silicon On Insulator, SOI)의 마이크로머시닝(micromachining) 가공공정으로 제작되었다.

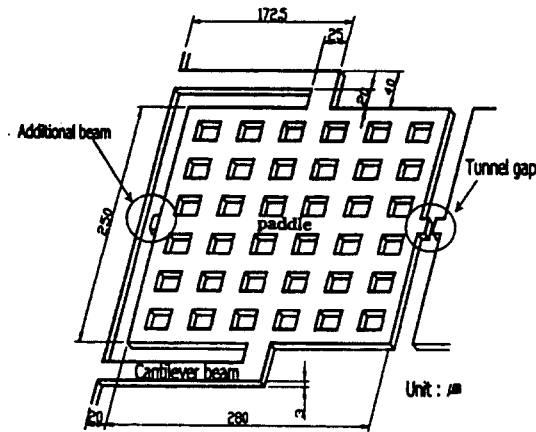


Fig. 1 Schematic view of microaccelerometer

2.2 마이크로가속도계 모델링

마이크로가속도계 패들부의 미소구멍 크기는 가로 10 μ m, 세로 7 μ m 크기를 갖고 두께는 3 μ m이다. 해석에 이용된 상용 유한요소(finite element) 코드는 ANSYS v5.3이며 프로그램은 Fig. 2와 같이 pre-processor 과정의 PREP7과 모델의 메쉬 생성 및 재료의 물성치 입력부분이 있고 solution 과정에서는 하중의 정의와 시간의 경과에 따른 해의 변

동상황을 계산하였다. 그리고 post-processor과정에서는 POST1과 결과를 효과적으로 전달해 주는 과정으로 구성되어 있다.

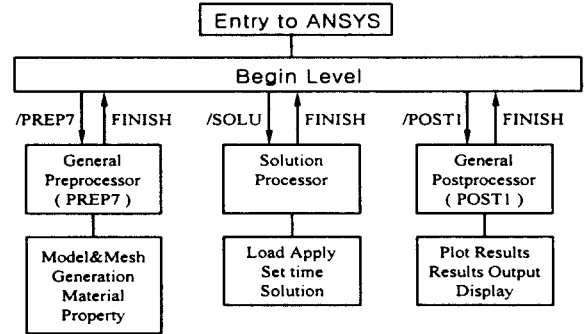


Fig. 2 Flow chart of analysis processes

2.3 유한요소해석 과정

pre-processor과정에서 모델링 한 다음 solution 과정에서 node에 대한 시간변화에 따른 열분포 거동을 확인하고 post-processor과정에서는 열변형에 대한 한 데이터와 열응력 분포를 해석하였다. 열응력 분포를 확인하기 위하여 다시 pre-processor과정으로 구조물 해석이 shell 63으로 전환하여 해를 구할 수 있다. 메쉬 생성 후 node수는 979개, element수는 846개이며 터널갭 부분, 부가비임 부분에 메쉬가 많이 됨을 볼 수가 있고 모두 자유메쉬(free mesh)이다. 해석과정은 Fig. 3과 같이 전체 제조공정을 시간에 대한 온도그래프로 나타낸 것으로 터널갭에서 온도가 빨리 진행되었다. 해석과정에서는 초기조건과 구속조건을 주며 해를 구할 수 있었고, 후처리구간에서는 열응력 분포 및 변화 양상을 유한요소법으로 해석하였다.

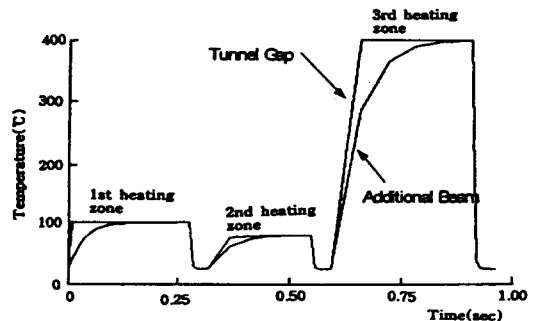


Fig. 3 Time history heating and cooling process

3. 해석결과 및 고찰

포도레지스터를 통한 형상을 제작한 후 집속이온빔(Focused Ion Beam, FIB)을 이용하여 터널갭과 부가비임을 절단할 때 발생하는 온도구배가 미치는 내부응력 변화를 해석한다.

Fig. 4는 캔틸레버 빔(A-A')에서의 1차 가열 구속부위에 $3.56 \times 10^4 \text{Pa}$ 정도의 열응력이 작용하며, 중간지점에서는 $6.98 \times 10^2 \text{Pa}$, 패들의 노치 부위에서는 $2.38 \times 10^3 \text{Pa}$ 정도가 나타나고 있다. 2차 가열에는 구속부위에 $2.61 \times 10^4 \text{Pa}$, 중간지점에서는 $5.12 \times 10^2 \text{Pa}$, 패들의 노치 부위에서는 $1.75 \times 10^3 \text{Pa}$ 정도로 작용된다. 3차 가열에는 구속부위에 $1.78 \times 10^5 \text{Pa}$, 중간지점에서는 $3.49 \times 10^3 \text{Pa}$, 패들의 노치 부위에서는 $1.19 \times 10^4 \text{Pa}$ 정도의 열응력이 작용함을 나타내고 있다.

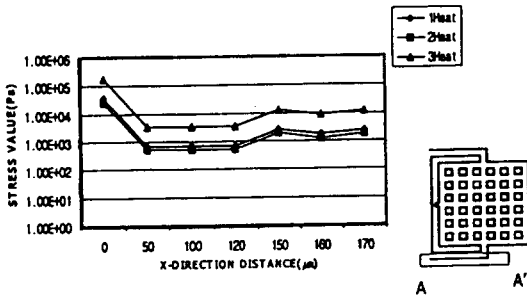


Fig. 4 Stress of cantilever beam A-A' part after each heating

Fig. 5는 캔틸레버 비임부분(A-A')의 냉각시에 작용된 열응력 분포로서 구속부위에서 가장 크게 작용되며 나머지 부분에서는 미소하게 작용된다.

패들의 밑 부분(B-B')에서의 열응력 거동을 나타내는 Fig. 6은 1차 가열시 부가비임 부분에서 1.42Pa , 캔틸레버 비임 $1.19 \times 10^3 \text{Pa}$, 터널갭 부위에서 $6.66 \times 10^{-1} \text{Pa}$ 정도의 열응력이 작용하고 있음을 보여준다. 2차 가열에서 열응력은 부가비임 부분에서 1.04Pa , 캔틸레버 비임에서 $7.51 \times 10^2 \text{Pa}$, 터널갭 부위에서는 $4.89 \times 10^{-1} \text{Pa}$ 정도이다. 3차 가열에서는 부가비임 부분에서 7.10Pa , 캔틸레버 비임에서는 $5.21 \times 10^3 \text{Pa}$, 터널갭 부위에서는 3.33Pa 정도를 열응력을 나타내고 있다.

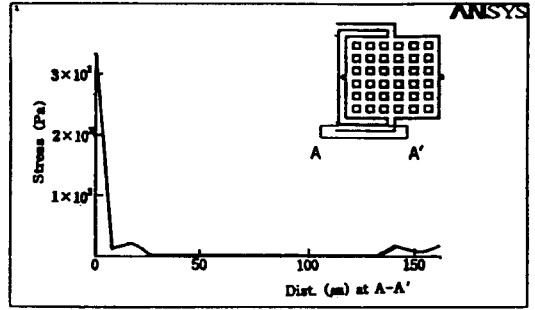


Fig. 5 Stress of cantilever beam A-A' part

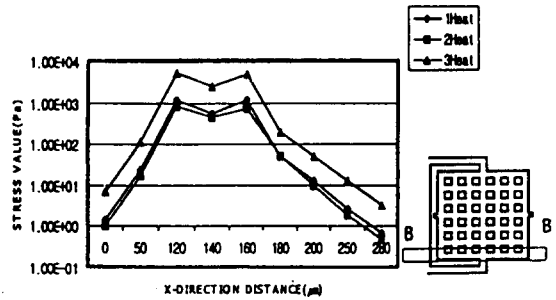


Fig. 6 Stress of paddle B-B' part after each heating

패들의 아래부분(B-B')의 잔류응력 거동을 나타낸 그림이 Fig. 7이며, 위 부분과 대칭성을 갖고, 캔틸레버 비임과 패들의 접속지점 노치에서 가장 크게 일어나며 중간부분에서는 급속히 감소하는 형상을 보여주고 노치 부위의 양쪽 응력의 중간 값을 의미하고 있다.

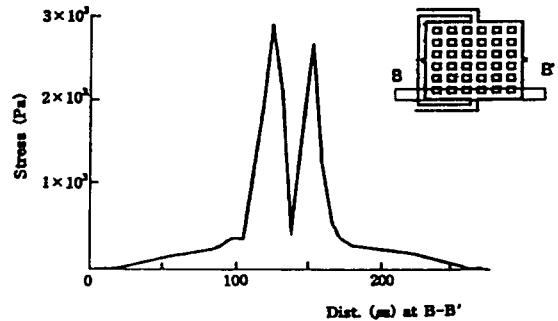


Fig. 7 Stress of paddle B-B' part

Fig. 8은 패들 중앙부(C-C')에서 1차 가열 시 발생하는 열응력이 캔틸레버 비임에서는 $5.32 \times 10^3 \text{Pa}$, 패들의 중앙부위에서는 $9.80 \times 10^1 \text{Pa}$ 정도를 나타내고 있다. 2차 가열시 열응력은 캔틸레버에서는 $3.9 \times 10^3 \text{Pa}$, 패들의 중앙부위에서 $7.19 \times 10^1 \text{Pa}$ 가 작용되고 있다. 3차 가열시에는 캔틸레버 비임에서 $2.66 \times 10^4 \text{Pa}$, 패들의 중앙부위에서 $4.90 \times 10^2 \text{Pa}$ 이며 맞은편과 거의 대칭형상의 열응력 크기를 갖는다.

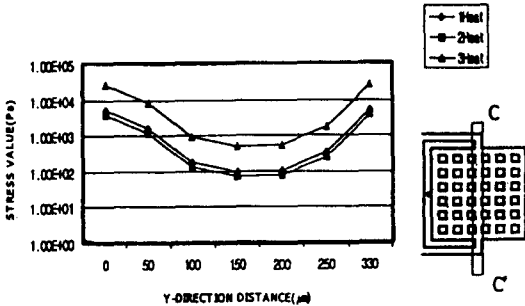


Fig. 8 Stress of paddle center C-C' part after each heating

패들의 중앙부(C-C')의 열응력 분포를 나타내는 Fig. 9는 대칭형상의 크기를 갖고 있다. 아울러 캔틸레버 비임부분에서 가장 크게 작용되며 패들 내부에서는 거의 응력이 작용되지 않는다는 것을 알 수 있다.

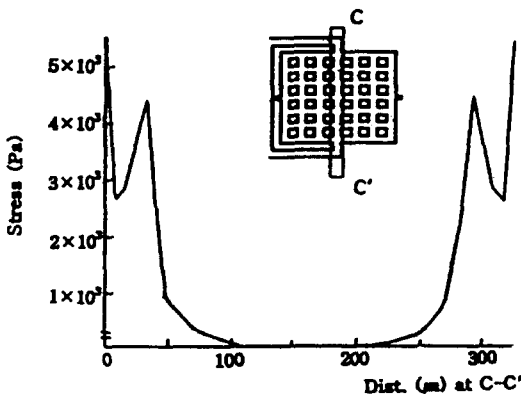


Fig. 9 Stress of paddle center C-C' part

4. 결론

정전기력을 이용하는 마이크로가속도계의 제작 공정에 따른 주위진 초기 및 구속조건에 대하여 각각의 열응력위 차이가 있음을 볼 수가 있었다. 부위별로 열응력 차가 있어 패들내 구멍의 노치부위에서 약간의 응력차가 있음을 알 수 있었지만 최대응력에 비하면 너무 적은 값이므로 무시할 수 있다.

센서의 터널갭 부위에 대한 열변위 차이를 보면 패들 중앙부에서는 변위차가 안정적이지만 터널갭과 부가비임 부분에서는 변위차가 크게 일어난다. 제작공정의 가열온도가 높을수록 열변위 차이가 크게 일어날것으로 예측된다.

참고문헌

- (1) Bryzek, J., 1996, Impact of MEMS Technology on Society, Sensors and Actuators, A56, pp.1~9.
- (2) 조영호, 1992, 미소 기계-전자 집적시스템 응용과 실제, 대한기계학회지, 제32권, 제7호, pp.588~603.
- (3) 김옥삼, 1998, 정전기력을 이용한 마이크로 가속도센서 축전기부의 주울발열에 의한 온도 분포 해석, 대한기계학회논문집 A권, pp.1348~1355
- (4) Nabors, K., Kim, S., White, J. and Senturia, S., 1992, "FastCap User325s Guid, Research Laboratory of Electronics," MIT, Cambridge, USA.
- (5) Lee, K. W. and Wise K. D., 1982 "SENSIM : A Simulation Program for Solid-State Pressure sensors," IEE Transactions on Electron Devices, ED-29, pp. 34~41
- (6) Kim, O.S., Yoshimura, S. and Yagawa, G., 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.
- (7) Carol J. Wilson and Patricia, 1996, A

Fracture Testing of Bulk Silicon Micro-cantilever Beams Subjected to a Side Load, vol.68, pp.5840~5844

- (8)C. J. Wilson, A. Ormeggi, and M. Narbutovskih, 1996. "Fracture testing of silicon micro cantilever beams," J. Appl. Phys, vol. 79, no.5, pp.2386~2393