Optical Society of Korea Summer Meeting 2004 (7.8~9, 2004)

MEMS/MOEMS의 신뢰성 설계
Designing MEMS/MOEMS for Reliability

김 건 년
전자부품연구원(KETI), 나노메카트로닉스 연구센터
kimkn@keti.re.kr

MEMS 란 Micro-Electro-Mechanical System 의 약어로서 마이크론 단위의 기계적 구조물과 전자회로가 결합된 시스템을 의미한다. 여기서 광과 MEMS기술이 접목되어 MEMS와 광이 결합한 MOEMS란 분야가 수년 전부터 각광받기 시작하였다. MEMS/MOEMS란 수십에서 수백 마이크론 크기의 아주 작은 구조물을 마이크론 단위의 정밀도로 가공하고 여기에 전자회로나 광부품 등을 결합 또는 집적화 시켜 원하는 기능을 수행할 수 있도록 만든 초소형 전자/광 시스템을 말한다. 이와 같이 MEMS 기술을 이용한다면 종래의 기계, 광 부품 및 시스템 등의 크기와 전력소모를 획기적으로 줄일 수 있으며 동시에 공간 활용도와 부품의 기능도 향상시킬 수 있게 될 것이다. MEMS 기술을 이용하여 현재 상용화 된 제품들로는 자동차용 압력 및 가속도 센서, 잉크젯 프린터용 헤드, 의료용 혈압계, 광통신용 스위치, 유량계, 이동통신기기용 마이크로웨이브 스위치 등을 들 수 있으며 이 제품들의 성능 및 신뢰성 향상을 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

MEMS Industry Group의 최근 보고서에 따르면 미국 MEMS 시장의 경우에 2000년 20~50억불 규모의 시장이 2004년에는 80~150억불의 규모로 성장할 것으로 전망되고, 현재 미국인 1인이 소유한 MEMS 소자의 개수가 1.6개에서 2004년에는 거의 5개로 늘어나며 연간 45 %의 성장을 보일 것으로 기대된다고 한다[1]. Gartner Dataquest 자료에 의하면 MEMS 시장은 2005 년 8 억 달러로 성장할 전망이다. 이와 같은 성장의 배경에는 자동차 에어백용 센서, 잉크젯 프린터용 헤드, 혈압계 등과 같은 기존 MEMS 부품들의 수요증가에 더하여 여러 응용 분야에서의 MEMS 부품의 신규 수요 증가가 기대되고 있기 때문이다. MEMS 부품의 신규수요 증가가 예상되는 응용 분야로는 대표적으로 광통신용 스위치 등 다양한 광통신 부품을 들 수 있으며, 조사 기관에 따라서 MEMS 시장 규모에 대한 전망에 수치적 차이는 있지만 공통적으로 지적하고 있는 사항은 MEMS/MOEMS 시장의 급속한 확대와 새로운 응용 분야의 등장에 대한 예상이다. 따라서 이러한 산업계와 시장의 요구에 부응하기 위한 기술 개발이 절실히 요구되고 있으며, 산업화를 향한 활발한 기술개발과 더불어 제품의 성공적인 상용화에 중점을 둔 연구 개발이 MEMS/MOEMS 분야의 중요한 이슈가 되고 있다. 여기서 MEMS/MOEMS 제품의 성공적인 상용화를 가능하게 하는데 필수적인 사항은 MEMS/MOEMS의 신뢰성 확보를 위한 신뢰성 최적 설계이다. MEMS/MOEMS 소자의 설계 시 치수와 양산 시 제작 오차로 인한 치수 차이에 의한 생산 수율의 문제가 발생할 수 있으며, 온도 변동과 외부 충격, 습도 변화 등의 작동 환경에 따른 소자 성능의 변동이 발생되는데 이를 최소하기 위한 신뢰성 확보가 매우 중요하다. 따라서, 제작 오차 및 환경 변화 등의 불확실성 하에서 MEMS/MOEMS 소자가 요구되는 중요한 기능을 만족하는 동시에 높은 수율을 제공하여 경제성과 신뢰성을 확보할 수 있도록 최적 설계를 하는 것이 필요하다.

MEMS/MOEMS의 경우 수율과 경제성에 영향을 미치는 파손 메카니즘은 솔더와 관련된 기존의 IC 패키지 어셈블리의 failure 경우와는 달리 좀 더 복잡하다. MEMS/MOMES의 기계적 신뢰성에 영향을 미치는 주요 인자는 다음과 같다[2].

(1) Stiction

Stiction은 미세구조물들이 인접하는 구조물이나 기판에 접착(adhesion)되는 현상을 의미하는 용어로 접촉하는 표면이나 미끄러져서 닿는 표면에서 많이 나타나는 현상으로 MEMS기술을 이용하여 제작된 센서와 엑튜에이터에 가장 큰 영향을 미치는 신뢰성 문제이다[3]. Stiction을 유발하는 힘에는 모세관력(capillary force), 정전기력(electrostatic force), 반데르발스력(van der Waals force) 등이 있다[4].

Stiction은 크게 희생층 제거 중에 발생하는 release 관련 stiction과 소자의 사용 중에 발생하는 stiction(In-use *stiction*)으로 나눌 수 있다. Stiction은 희생층 제거 도중에 발생하여 수율을 낮추고 release 이후에도 과도한 입력 전기신호, 높은 습도나 진동, shock 등의 환경 변화, 공진 도중의 기계적 불안정성에 의하여 발생하기도 한다. 성공적으로 release된 구조물이라 하더라도 습기에 노출되어 노출시간이 증가하면서 미세구조물 표면들이 서로 고착되는 현상이 발생할 수 있다.

Release와 관련된 stiction을 감소시키기 위한 방법으로 supercritical CO2 건조방법[5]과 freeze sublimation[6] 방법이 있다. 원리는 건조 공정 시 액상이 형성되지 않고 직접 건조되도록 하여 건조 중에 meniscus의 형성을 방지하는 것이다.

In-use stiction을 감소시키기 위한 방법으로 여러 가지 화학적 표면 처리 방법이 제안되었다[7],[8].

(2) 마찰과 마모(Friction and Wear)

IC 에서는 열피로에 의한 솔더 접합부의 파손이 매우 중요하지만 MEMS/MOEMS의 경우에는 특별한 경우를 제외하고 열피로에 의한 파손보다는 대부분이 마찰(friction) 과 마모(wear)에서 오는 파손이 주를 이루고 있다. 마모는 주로 다결정 실리콘(polysilicon) 마이크로 터빈과 같이 베어링이나 윤활유를 사용할 수 없는 MEMS/MOEMS 부품에서 큰 문제가 된다. 베어링은 가공하는 것 자체가 불가능하고 윤활유는 큰 점성으로 인하여 stiction 문제를 일으킬 수 있기 때문에 사용하기 어렵다.

마찰 등에 의한 부식 환경에서의 마모는 stiction의 다른 면으로 이해 될 수 있다. 즉, MEMS/MOEMS 구조물의 매우 작은 크기에 의하여 구조물의 구성요소인 빔, 컨틸레버 및 comb finger 등의 사이나 표면 위에 부식에 의하여 형성된 부산물(산화막) 이나 표면으로부터 떨어져 나온 미세 입자 등의 부산물이 접착되어 엑츄에이터의 구동이나 센서의 감지를 방해할 수 있다.

(3) 기계적인 진동과 충격, 습도 등 환경 인자에 기인한 Failure (Susceptibility to Mechanical Vibration, Shock and Humidity)

환경적인 요인에 의한 파손으로 진동, 충격, 습기, 열피로 등이 있다. MEMS/MOEMS의 경우 구동부나 감지부가 있어 IC 패키지에 비하여 환경적인 요인에 더 민감하며 이러한 요인에 의하여 신뢰성에 영향을 더 미친다.

(4) 주기적인 기계적 피로 (Cyclic Mechanical Fatigue)

기계적인 피로에 의한 피로는 재료가 주기적인 하중에 놓이게 되는 comb actuator 와 membrane 구조의 MEMS/MOEMS에서 중요한 문제이다. 인가되는 하중이 작아도, 재료에 인가되는 응력은 재료의 성질을 열화시킬 수 있다. 주로 보(beam)와 스프링, 멤브레인 등으로 이루어진 마이크로 센서의 경우 탄성적인 성질의 변화는 beam의 고유진동과 진동 감쇄(damping)에 영향을 미치게 되어 전체 센서 성능을 저하시킨다.

본 특강에서 살펴본 바와 같이, 단순한 MEMS/MOEMS 기술개발에 그치는 것이 아니라 MEMS/MOEMS시장 확대와 더불어 새롭고 다양한 분야의 수요를 충족시키기 위해서는 산업계와 시장의 요구에 부응하기 위한 기술진보와 함께 성공적인 상용화를 위한 강인한 최적 설계가 매우 중요하며 이를 개발 초기에서부터 반영하여야 한다. 이를 통해 중요 기능 만족과 높은 수율 제공을 동시에 만족시킬 수 있는 MEMS/MOEMS 제품의 경제성과 신뢰성 확보가 가능하다고 본다.

참고 문헌

[1] Industry Group's new report : http://www.smalltimes.com, 2002
[2] 이호영, "MEMS 패키징과 신뢰성" : http://www.eic.re.kr, 2002
[3] B.H. Kim et al., "A new organic modifier for anti-stiction", Journal of MEMS, vol.10, no.1, pp.33-40, March 2001.
[4] D.M. Tanner, " Reliability of surface micromachined microelectromechanical actuators", Proc. 22nd Inter. Conference on Microelectronics(MIEL), vol.1, pp.97-104, May 2000.
[5] G.T. Mulhern et al., Transducers'93, Yokokama, pp.296-299, June 1993.
[6] H.Guckel et al., "The application of fine-grained tensile polysilicon to mechanically resonant transducers", Sensors and Actuators, A21, pp.346-351, 1990.
[7] M.R. Houston, R. Maboudian, "Stability of ammonium fluoride-treated Si(100)", J. Appl. Phys., vol.78, no.6, pp.3801-3808, 1995.
[8] M.R. Houston, R. Maboudian, and R.T. Howe, "Self-assembled monolayer films as durable antistiction coatings for polysilicon microstructures", Transducers'96, Hilton Head, pp.42-47, 1996