

초고온 MEMS용 SiCN 미세구조물 제작과 그 특성

이규철, 정귀상
울산대학교

Fabrication of SiCN Microstructures for Super-High Temperature MEMS and Its Characteristics

Gyu-Chul Lee, Gwi-Sang Chung
Univ. of Ulsan

Abstract : This paper describes the fabrication of SiCN microstructures for super-high temperature MEMS using photopolymerization of pre-ceramic polymer. In this work, polysilazane liquide as a precursor was deposited on Si wafers by spin coating, microstructured and solidificated by UV lithography, and removed from the substrate. The resulting solid polymer microstructures were cross-linked under HIP process and pyrolyzed to form a ceramic of withstanding over 1400°C. Finally, the fabricated SiCN microstructures were annealed at 1400°C in a nitrogen atmosphere. Mechanical characteristics of the SiCN microstructure with different fabrication process conditions were evaluated. The elastic modules, hardness and tensile strength of the SiC microstructure implemented under optimum process conditions are 94.5 GPa, 10.5 GPa and 11.7 N/min, respectively. Consequently, the SiCN microstructure proposed in this work is very suitable for super-high temperature MEMS application due to very simple fabrication process and the potential possibility of sophisticated multilayer or 3D microstructures as well as its good mechanical properties.

Key Words : SiCN, MEMS, Photopolmerization, Precursor, Microstructure, HIP

1. 서 론

Si-MEMS기술은 고부가가치를 창출하는 기술로써 지난 10년간 급속도로 발전하고 있다. Si 마이크로머시닝기술과 보상회로까지 집적화된 MEMS는 Si의 물리적 특성 때문에 120°C까지 또한, SOI와 SOS 구조 역시 300°C까지만 사용가능하다.^[1] 최근에 수송기계 엔진, ST, ET, 발전소 산업분야에서 500°C 이상의 초고온에서 사용가능한 MEMS 개발이 요구되고 있다.^[2]

여러 가지 광대역 반도체중에서도 SiC는 고전력, 고주파, 고온, 내방사성, 내부식성, 내마모성, 바이오 적합성 특성뿐만 아니라 기계적 특성이 우수하기 때문에 극한 환경, IT, RF, BT용 M/NEMS로써 연구가 활발히 진행되고 있다.^[3] 그러나, 승화법과 CVD에 의한 결정성장중에 Si와 SiC의 20%의 격자 비정합으로 인한 큰 결정결함이 존재하고 8%의 열팽창계수 차에 의한 큰 잔류응력으로 인하여 대면적의 SiC 결정성장이 불가능하며 고가이다. 더구나, α -SiC의 경우, 고경도로 인하여 미세구조물 제작이 어렵다. 또한, β -SiC인 경우, SiC 박막의 평면적인 성질때문에 복잡한 3차원 구조를 제작이 곤란하다.^[4]

최근에 Si, N, C, B 등의 분자들을 함유하고 있는 분자 화합물을 전구체로 폴리머- MEMS가 주목받고 있다. 특히, polysilazane을 전구체로 사용하여 제작된 SiCN는 최대 사용온도가 1400°C이며 열충격지수 (1100-5000)가 Si_3N_4 (890), SiC (270)에 비하여 크고 또한, 클리프 및 내산화성 역시 SiC 및 Si_3N_4 보다도 우수하기 때문에 다른 반도체 물질들에 비하여 극한 환경에 적용 가능한 물질이다.^[5]

따라서, 본 연구에서는 전구체로 액체 poly-silazane와 UV lithography 공정만으로 MEMS용 SiCN 미세구조물을 제작한 후, 인장시험기와 CSM (continuous stiffness measurement) 모듈 등을 이용하여 탄성계수, 경도 그리고 인장강도 등 기계적 특성을 분석 및 평가하였다.

2. 실험

본 연구에서는 액체 고분자와 UV lithography으로 SiCN 세라믹 미세구조물을 제작했으며, 나노 레벨의 기계적 특성을 측정하기 위하여 Nano Indenter의 CSM 모듈과 로드셀이 장착된 인장 시험기를 이용해 탄성계수와 경도, 인장강도 등을 측정하였다. CSM 모듈을 이용하면 SiCN 미

세구조물과 같은 소형 시편의 압입 깊이에 따른 나노 레벨의 파괴 역학적 특성을 측정할 수 있다. 측정 및 분석에 사용된 시편은 두께 470 μm , 폭 9 mm, 길이 18 mm의 SiCN 미세구조물이다. Indentation 실험에서 샘플은 길이 2000 nm까지 압입하였다. 또한, 각 회의 실험에서 압입 깊이에 따른 경도와 탄성계수의 변화를 CSM 모듈을 이용하여 측정하였다. 압입 시험시 잔류응력 혹은 균열성장의 영향을 최소화하기 위하여 indentation 되는 위치들은 50 μm 씩의 간격을 두었다. SiCN 미세구조물에 기공이 많이 존재하거나 표면 거칠기가 양호하지 못할 경우, 경도 측정시 표준편차가 커질 수 있기 때문에 미세구조물의 표면상태가 양호함을 확인한 후, 샘플당 평균 16회의 압입시험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 본 연구에서 제작한 두께 400 μm , 직경 1.25 mm의 SiCN 마이크로 기어의 SEM 사진으로 32.5%의 수축율로 치수변형은 발생하였지만 흠이나 찌그러짐 등의 왜곡은 생기지 않음을 알 수 있다.

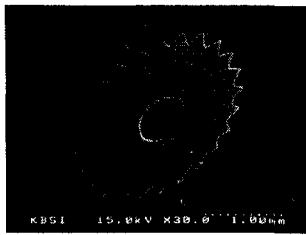


그림 1. 제작된 SiCN 마이크로 기어의 SEM.

그림 2(a)와 (b)는 각각 열처리 전후 SiCN 미세구조물의 탄성계수를 CSM 모듈로 측정된 결과이다. 열처리 전에는 평균 90.7 GPa의 탄성계수로써 표준편차는 3.80 GPa였지만, 열처리 후에는 94.5 GPa의 평균값을 얻으며 특히, 표준편차가 1.1 GPa로 양호하여 열처리를 수행함으로써 탄성계수가 더욱 크고 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있었다.

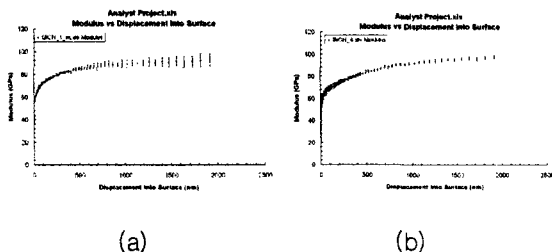


그림 2. 열처리 (a) 전과 (b) 후의 SiCN 미세구조물의 탄성계수 변화.

그림 3(a)와 (b)는 각각 열처리 전후 SiCN 미세구조물의 경도 변화를 CSM 모듈로 측정된 결과이다. 그림 (a)에서 열처리 전 시편의 경도는 평균 9.51 GPa이며 표준편차는 0.926 GPa이었다. 한편, 열처리 후 시편의 경도는 10.5 GPa의 평균값과 표준편차는 0.159 GPa으로 열처리를 수행함으로써 경도가 향상됨을 확인하였다.

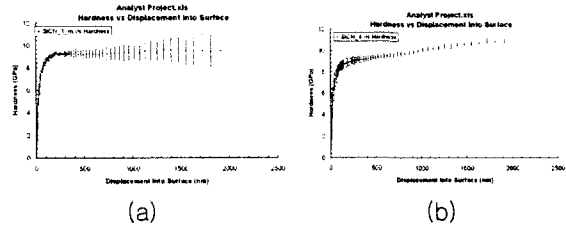


그림 3. 열처리 (a) 전과 (b) 후의 SiCN 미세구조물의 경도 변화.

4. 결론

본 연구에서는 액체 polysilazane를 전구체로 사용하여 UV lithography 공정만으로도 패터닝이 가능한 SiCN 미세구조물을 제작한 후, 인장시험기와 CSM 모듈 등을 이용하여 기계적 특성을 분석했다. SiCN 미세구조물의 탄성계수는 94.5 GPa, 경도는 10.5 GPa 그리고 전단강도는 평균 15.2 N/mm였다.

따라서, 본 연구에서 제작한 SiCN 미세구조물은 100 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 초고온에서도 우수한 재료특성뿐만 아니라 식각 및 증착공정없이 미세가공이 가능하며 기존의 Si, SOI, SiC-MEMS에 비하여 공정이 간단하고 매우 경제적이다. 또한, 고형화와 액체코팅을 교대로 하여 적층 구조를 쉽게 제작할 수 있으며 복잡한 3차원 구조도 제작할 수 있을 것으로 예상된다. 더구나, 내전압 등의 전기적 특성을 확보할 경우, 초고온 MEMS로써 유용하게 사용 가능할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] G. S. Chug, Sensors & Actuators A, 39, 241(1993).
- [2] P. M. Sarro, Sensors & Actuators A, 82, 210(2000).
- [3] Y. T. Yang et al., Appl. Phys. Lett. 78, 165(2001),
- [4] G. S. Chung et al., Sensors & Actuators A, 119, 599(2005).
- [5] R. Riedel et al., J. Amer. Ceram. Soc., 81, 3341 (1998).