

## PDMS 몰드를 이용한 초고온용 SiCN 구조물의 제작

우형순, 김규현\*, 정귀상

동서대학교 정보시스템공학부, 동서대학교 응용공학부\*

### Fabrication of SiCN structures using PDMS mold for high-temperature applications

Hyung-Soon Woo, Gue-Hyun Kim\*, Gwi-Sang Chung

School of Information System Eng., Dongseo Univ, School of Applied Eng., Dongseo Univ.\*

#### Abstract

In this paper, a novel processing technique for fabrication of high-temperature MEMS based on polymer-derived SiCN microstructures is described. PDMS molds are fabricated on SU-8 photoresist using standard UV-photolithographic processes. Liquid precursors are injected into the PDMS mold. And then, the resulting solid polymer structures are crosslinked under isostatic pressure, and pyrolyzed to form a ceramic capable of withstanding over 1500°C. These fabricated SiCN structures would be applied for high-temperature applications, such as heat exchanger and combustion chamber.

**Key Words** : MEMS, polymer, SiCN, PDMS, SU-8,

#### 1. 서 론

지난 '90년대부터 MEMS (micro-electro mechanical system) 기술은 Si 가공기술을 바탕으로 발전을 거듭하여 왔으며 정보화 사회에 필요한 고정밀도 기록장치, 사진식각장치, 나노일렉트로닉스, 다양한 극한 센서, 초고속 액추에이터, 통신용 소자 등 여러 가지 분야에 응용되고 있다.

특히, 고온에서 우수한 물성을 가지는 MEMS는 자동차, 조선 그리고 항공기 엔진제어용 고온센서와 발전소 전력제어용 고용량 소자 등 넓은 응용 분야에서 사용이 가능하고 고전력 스위치나 이동전화 통신 및 HDTV용 고전력, 고주파수 소자의 응용도 가능하다. 그러나 기존의 Si MEMS는 1.1 eV의 낮은 에너지갭 때문에 약 100°C 이상으로 온도가 상승하면 pn 접합 누설전류로 인한 소자의 특성 상실과 소자의 기계적 물성의 감소로 고온에서는 사용할 수 없다[1, 2]. 한편, 미국과 유럽에서는 500°C 이상의 고온에서도 사용가능한 MEMS의 재료로써 CVD(chemical vapor deposition)에 의한 실리콘 카바이드 (SiC: Silicon Carbide) 가

개발중이다. 그러나, 결정성장중에 Si와 SiC의 격자 비정합으로 인하여 많은 결정결함이 존재하며 또한, 열팽창계수의 차로 인한 큰 잔류응력때문에 큰 면적의 SiC 결정성장은 대단히 어려우며, 그 크기와 가격의 문제로 인하여 대량생산에 큰 제약을 받고 있다. 또한, CVD로 제조된 SiC의 경우 planar한 성질 때문에 복잡한 3-D 구조를 제작하기 어렵다[3].

한편, 액체 polysilazane을 출발물질로 하여 만들어진 SiCN (silicon carbon-nitride)은 1000°C 이상의 고온에서도 우수한 재료특성을 나타낼 뿐만 아니라 가공도 용이하다. 현재 사용되는 Si 가공기술은 패터닝후 습식 또는 건식 식각을 필요로 한다. 그러나 polysilazane을 이용하여 SiCN 3차원 미세 구조물을 만드는 공정은 패터닝후 식각공정이 필요 없다. 최근 연구가 많이 진행되고 있는 LIGA공정의 경우, 이용하기 어려운 방사선 가속기의 X-ray를 사용해야만 하지만, 액체 polysilazane에 의한 SiCN MEMS의 경우, 간단히 UV photolithography를 이용하면 되므로 훨씬 공정이

간편화하며 경제적이다. 또한 고체화와 액체코팅을 교대로 하여 multi-layer 구조를 용이하게 제작할 수 있으며 이러한 multi-layer 공정을 이용하면 복잡한 3차원 구조도 쉽게 제작할 수 있다[4].

현재 SiCN MEMS 3차원 구조물을 만드는 연구가 미국의 콜로라도 대학에서 유일하게 시작되고 있다. 그러나 콜로라도 대학에서 제작중인 SiCN 미세구조물의 경우, micro-casting법에 있어서 SU-8과 SiCN 사이의 반응을 방지하기 위하여 teflon coating을 이용하였으나[5], micro scale의 teflon coating은 습식 또는 건식 coating공정간에 있어서 기술적으로 많은 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 SU-8 mold와 SiCN 간의 반응문제를 해결하기 위하여 계면에너지가 낮아 화학적으로 안정하며, 공정이 간단하여 제작이 용이한 PDMS (polydimethylsiloxane) mold를 사용하여 1400°C 이상에서도 사용 가능한 초고온용 SiCN 미세구조물의 제작가능성을 연구하였다.

## 2. 실험

본 실험에서는 PDMS mold를 이용한 SiCN 구조물을 제작하기 위한 선행공정으로, 먼저 Si 기판 위에 SU-8 (Microchem corp, SU-8 2050)을 photolithography 공정으로 패터닝하여 200  $\mu\text{m}$  두께의 mold를 형성하였다. 그림 1은 SU-8 mold 제작공정순서를 도식적으로 나타낸 것이다.

형성된 SU-8 mold 위에 PDMS (Dow corning, SYLGARD 184) 와 curing agent를 10:1 비율로 혼

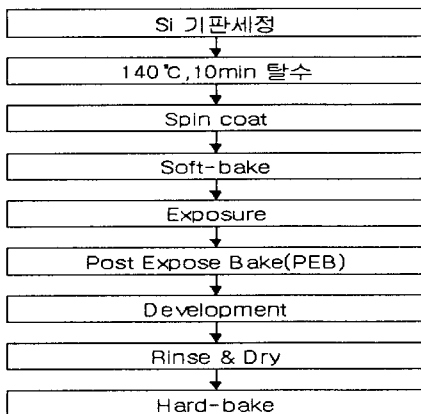


그림. 1. SU-8 mold 제작공정 순서도.  
Fig. 1. Fabrication process sequences of SU-8.

합한 후 spin coating하여,  $10^6$  torr의 진공챔버 내에서 30분동안 기포를 제거하였다. 또한 70°C에서 2시간동안 oven에서 가열하여 500  $\mu\text{m}$  두께의 PDMS mold를 제작하였다. 제작된 PDMS mold 내에 SiCN의 liquid precursor인 polyureasilazane (Kion corp, Ceraset™)에 광개시제인 2,2-dimethoxy-2-phenyl acetophenone를 5 wt.%첨가한 후 PDMS mold 내에 주입하여 UV에 25분간 조사하였다. 그리고 PDMS mold로부터 분리하여 free-standing의 SiCN 구조물을 제작하였다. 고형화된 SiCN 구조물은 HIP (hot isostatic pressure) 장치를 사용하여 400°C에서 1시간 동안 Crosslink와 순차적으로 1000°C에서 4시간동안 pyrolysis의 공정을 거친 뒤 최종적으로 1400°C, 5시간동안 annealing하여 초고온용 벌크세라믹 SiCN 미세구조물을 제작할 수 있다. 그림 2는 SiCN 제작공정 순서도를 도식적으로 나타낸 것이다.

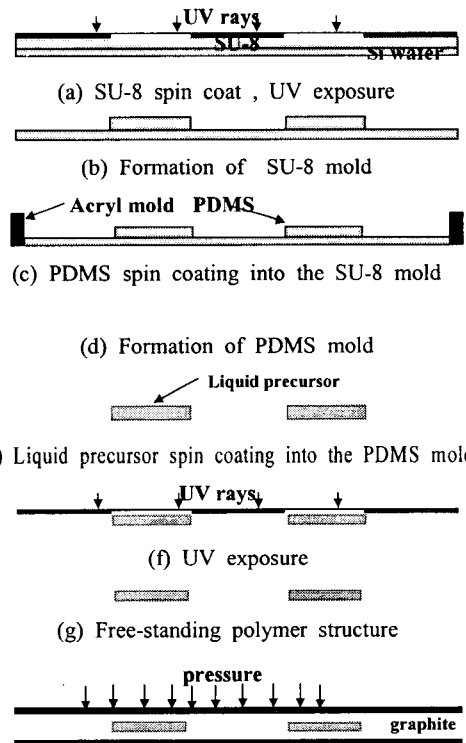


그림. 2. SiCN 제작공정 순서도.  
Fig. 2. Fabrication process sequences of SiCN.

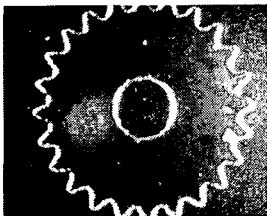
### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 초고온용 SiCN 미세구조물을 제작하기 위하여 먼저 패터닝된 SU-8 mold를 이용하여 PDMS mold를 제조한 후, 제조된 PDMS mold내에 액체 polyureasilazane을 주입하여 최종적으로 초고온용 SiCN 미세구조물을 형성하였다.

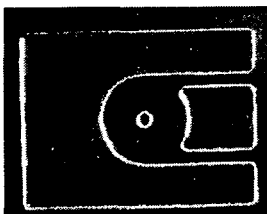
그림 3(a)는 SiCN의 집적화 및 소형화를 위한 선행공정으로서, 고종횡비를 가지는 SiCN 미세구조물을 제작하기 위하여 SU-8 mold의 간격을 달리하여 제작한 micro channel 단면의 현미경 사진이다. 그림에서 10:1 (가로 30  $\mu\text{m}$   $\times$  세로 300  $\mu\text{m}$ )의 고종횡비를 가지는 SU-8 mold를 제작하였다. 또한 그림 (b)의 micro gear (직경 2.5mm  $\times$  높이 300  $\mu\text{m}$ )와 그림 (c)의 gas turbine (가로 2.5mm  $\times$  세로 1.8mm  $\times$  높이 300  $\mu\text{m}$ )에서 보는 바와 같이 형성된 SU-8 mold의 측벽 및 표면이 매우 우수한 평탄도를 유지함을 알 수 있었다.



(a) micro channel



(b) micro gear

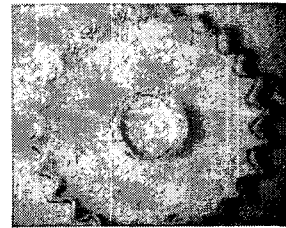


(c) gas turbine

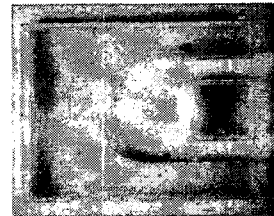
그림 3. 제작된 SU-8 mold 구조물의 현미경사진 (Max. aspect ratio-10:1).

Fig. 3. Microscopy image of fabricated SU-8 mold structures(Max. aspect ratio-10:1).

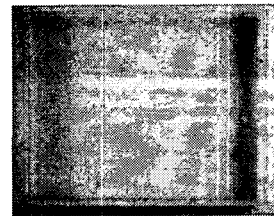
그림 4는 패터닝한 SU-8 mold를 이용하여 형성한 PDMS mold의 현미경 사진이다. PDMS는 계면 에너지가 낮아 SU-8 mold와 부착이 발생하지 않기 때문에, 그림(a), (b)과 같이 패터닝된 SU-8 mold의 형태와 동일한 형상을 제작할 수 있었다. 그림 (c)의 membrane은 가로 2.5mm  $\times$  세로 1.8mm  $\times$  두께 100  $\mu\text{m}$ 로 제조하였다.



(a) micro gear



(b) gas turbine



(c) membrane

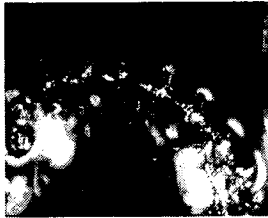
그림 4. 제작된 PDMS mold 현미경사진.

Fig. 4. photography of fabricated PDMS mold.

그림 5는 PDMS mold를 이용하여 제작한 SiCN 구조물의 현미경 사진이다. 그림 5(a)의 membrane 처럼 평면 구조물의 경우, PDMS mold의 형태와 동일한 구조물의 제작이 가능하였으나 (b)의 micro gear같은 3-D 구조물의 경우, PDMS mold와 고휘화된 SiCN 간의 측면 부착력이 강하여 SiCN의 free-standing 구조가 제대로 이루어지지 못하는 문제점이 발생하였다. 향후, 이러한 문제점은 UV dose량 또는 UV intensity의 조절을 통하여 해결 가능할 것으로 생각된다.



(a) membrane



(b) micro gear

그림 5. 제작된 SiCN 미세구조물의 현미경사진.

Fig. 5. Photograph of fabricated SiCN microstructures.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 SU-8 mold와 SiCN 간의 반응물체를 해결하기 위하여 공정이 간단하여 제작이 용이하고 반영구적으로 사용가능하며, 계면에너지가 낮아 화학적으로 안정한 PDMS mold를 사용하여 1400℃ 이상에서도 사용 가능한 초고온용 SiCN 미세구조물의 제작가능성을 확인하였다. 연구결과, 10:1 (가로 30  $\mu\text{m}$ , 세로 300  $\mu\text{m}$ )의 고종횡비를 가지는 SU-8 mold를 제작할 수 있었으며 형성된 SU-8 mold의 측벽 및 표면이 매우 우수한 평탄도를 유지함을 알 수 있었다. 또한, 패터닝된 SU-8 mold의 형태와 동일한 형상의 PDMS mold를 제작할 수 있었다. 그러나 PDMS mold를 이용하여 SiCN 구조물의 제작시 평면 구조물의 제작은 가능하였으나 3-D 구조물의 경우, free-standing 구조가 제대로 이루어지지 못하는 문제점이 발생하였다. 향후, 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구를 진행할 예정이다.

#### 참고 문헌

- [1] L. A. Liew, W. Zhang, V. M. Bright, L. An, M. L. Dunn and R. Raj "Fabrication of SiCN ceramic MEMS using injectable polymer-precursor technique", Sensors & Actuators A, vol. 89, p. 64~70, 2001.
- [2] L. An, R. Riedel, C. Konetachny, HJ Kleebe and R. Raj, "Newtonian viscosity of amorphous silicon carbonitride at high temperature", J. Am. Ceram. Soc., vol. 81, p. 1349~1352, 1998.
- [3] R. Riedel, L.M. Ruwisch, L. An and R. Raj, "Amorphous silicoboron carbonitride ceramics with anomalously high resistance to creep", J. Am. Ceram. Soc., vol. 81, p. 3341~3344, 1998.
- [4] L. A. Liew, Y. Liu, R. Luo, T. Cross, L. An, V. M. Bright, M. L. Dunn, J. W. Daily and R. Raj, "Fabrication of SiCN MEMS by photopolymerization of pre-ceramic polymer", Sensors & Actuators A, vol. 95, p. 120~134, 2002.
- [5] L. A. Liew, R. A. Saravanan, V. M. Bright, M. L. Dunn, J. W. Daily and R. Raj, "Processing and characterization of silicon carbon-nitride ceramics: application of electrical properties towards MEMS thermal actuators", Sensors & Actuators A, vol. 3560, p. 1~11, 2003