

초임계 이산화탄소를 이용한 미세전자기계시스템(MEMS)의 식각, 세정, 건조 연속 공정

민선기, 한갑수<sup>1</sup>, 유성식\*  
한국기술교육대학교 응용화학공학과  
330-708 충남 천안시 동남구 병천면 충절로 1600,  
<sup>1</sup>씨엔비 산업(주)  
\*충남 금산군 추부면 신평리 농공단지 1600-1  
ssyou@koreatech.co.kr\*

Continuous process for the etching, rinsing and drying of  
Micro-Mechanical-Electro-Systems(MEMS) using supercritical carbon dioxide

Seon Ki Min, Gap Su Han<sup>1</sup>, Seong-sik You\*  
Department of Applied Chemical Engineering, Korea University Of  
Technology & Education, 1600 Chungjeol-ro, Byeongcheon-myeon, Dongnam-gu, Cheonan,  
Chungnam, 330-708, Korea  
<sup>1</sup>C&B INDUSTRIAL CO.,LTD.  
1006-1, Sinphyung-Ri, Chubu-Myun, Geumsan-Gun, Chungnam, Korea  
[ssyou@koreatech.co.kr](mailto:ssyou@koreatech.co.kr)\*

## 요 약

기존의 초임계 이산화탄소를 이용하여 식각 및 건조하는 공정은 외부에서 용매를 이용하여 웨이퍼를 식각한 후 고압 건조기로 이동시켜 초임계 이산화탄소를 이용하여 세정 및 건조를 하는 2단계 공정으로 구성되어 있다. 이 공정을 이용하여 본 연구에서 실험을 수행한 결과 점착 없이 식각, 세정 및 건조가 가능함은 확인되었지만, 반복 실험 결과 재현성이 떨어지는 것을 확인 하였다. 이것은 외부에서 식각한 후 건조기로 이동 할 때 식각용 용매가 기화하여 구조물이 점착되는 문제가 발생하기 때문이었다.

본 연구에서는 이 문제를 개선하기 위하여 웨이퍼를 이동시키지 않고, 고압 건조기 내에서 초임계 이산화탄소를 이용하여 미세전자기계시스템 웨이퍼의 식각, 세정 및 건조 공정을 연속적으로 수행하고자 하였다. 또한, 연속공정 수행 시 식각 공정에서 사용하는 이산화탄소의 상태(기체, 액체, 초임계 상태)에 따른 영향을 알아보하고자 하였다.

기체 이산화탄소를 이용하여 식각하는 경우(3MPa, 25°C)에는 점착 없는 식각, 세정 및 건조를 할 수 있었고 반복 실험을 통하여 공정의 최적화 및 재현성을 확인 하였다. 또한, 기존의 2단계로 이루어진 공정에 비해 세정용 용매의 양을 절감 할 수 있었다. 액체 이산화탄소를 이용하여 식각하는 경우(3MPa, 5°C) 액체 이산화탄소와 식각용 공 용매(아세톤)간의 층 분리가 일어나 완전한 식각이 이루어지지 않았다. 초임계 이산화탄소를 이용하여 식각 하는 경우(7.5MPa, 40°C) 점착 없는 식각, 세정 및 건조를 할 수 있었고 기존 2단계 공정에 비해 세정용 용매의 절감 뿐 아니라 기체 이산화탄소를 이용한 연속공정에 비하여 공정시간도 단축시킬 수 있었다.

The previous technology for the etching and the drying process of wafers for MEMS using SC-CO<sub>2</sub>(supercritical carbon dioxide) consists of two step. Firstly, MEMS-wafers are etched by organic solvent under atmospheric pressure and then moved to high pressure dryer for the rinsing and drying process using SC-CO<sub>2</sub>.

We found that the previous two step process can be applied to etch and dry wafers for MEMS but could not confirm the reproducibility through several experiments. We thought the cause of that was the stiction of structures occurring due to vaporization of the etching solvent during moving MEMS wafer to high pressure dryer after etching it outside.

In order to improve the structure stiction problem, we designed a continuous process for etching, rinsing and drying of MEMS-wafers using SC-CO<sub>2</sub> without moving them. And we also wanted to check the relation of states of carbon dioxide(gas, liquid, supercritical fluid) to the structure stiction problem.

In the case of using gas carbon dioxide(3MPa, 25°C)as etching solvent, we could obtain well-treated MEMS-wafers without stiction and confirm the reproducibility of experimental results. The quantity of rinsing solvent used could be also reduced compared with the previous one. In the case of using liquid carbon dioxide(3MPa, 5°C), we could not obtain well-treated MEMS-wafers without stiction due to the phase separation of between liquid carbon dioxide and etching co-solvent(acetone). In the case of using SC-CO<sub>2</sub>(7.5Mpa, 40°C), we had as good results as those of the case using gas-CO<sub>2</sub>. Besides the processing time was shortened compared with that of the case of using gas-CO<sub>2</sub>

## 1. 서론

미세전자기계시스템(Micro Electro Mechanical Systems, MEMS)기술은 기존의 반도체 미세공정 기술을 적용하여 저렴한 비용으로 대량 생산이 가능 하므로 각국이 전략적으로 연구개발을 추진하고 있는 연구 분야로써 마이크로센서, 마이크로폰, 에어백 시스템 등

의 상품의 형태로 매년 10% 이상의 성장률을 기록하면서 응용이 확대되고 있다.[1]

하지만 미세전자기계시스템의 초미세화, 초고집적화로 인해 기존의 습식 반도체 공정에서 세정 공정 시 사용하는 초 순수, 화학용제들의 침투가 어려워 세정효율이 떨어지고, 식각, 세정 공정 중에 용매의 표면장력에 의해서, 건조과정에서 세정액이 증발하면서 발생하는 구조물(Structure)들 간의 모세관력(Capillary force)에 의해 점착(Stiction)이 일어나는 치명적인 문제점이 있다.[2-5]

이로 인한 새로운 대안 방법으로 초임계 유체를 이용한 건식 공정 기술이 연구되어 왔으며, 미국 Los Alamos National Laboratory(LANL) 연구진에 의하여 초임계 이산화탄소를 이용한 희생층 제거가 효과적임이 밝혀졌다.[6] 이후 국내외에서 많은 연구가 진행되어 국내에서는 초임계 이산화탄소를 이용한 MEMS 건식 세정에 관한 연구가 Han[7]에 의해 시도되었는데, 이는 외부에서 식각 후 고압 건조기 내에서의 세정, 건조공정을 거치는 2단계의 공정이다. 위와 같은 공정을 통해 MEMS 웨이퍼를 점착 없이 건조할 수 있지만 외부에서 식각 후 건조기로 이동시 아세톤이 기화되어 세정 및 건조 이전에 웨이퍼의 점착이 일어날 가능성이 있다. 본 연구에서는 기존의 2단계로 이루어진 공정을 개선하여 식각, 세정, 건조를 연속적으로 수행하여 이 문제를 해결하고자 하였다. 또한, 연속공정으로 수행 시 식각 공정에서 사용하는 이산화탄소의 상태(기체, 액체, 초임계 상태)에 따른 영향을 알아보려고 하였다.

## 2. 실험

본 연구에서는 총 4가지 경우의 실험을 수행하였다. 기존의 2단계 공정(Case1)과 연속공정의 경우 식각 공정에서 사용하는 이산화탄소의 상태(기체, 액체, 초임계 상태)에 따라 3가지 경우(Case2~4)로 구분하여 수행 하였다. Case1~4 각각의 경우를 Table 1.에 나타내었다. 분석은 FE-SEM(전계 방출형 주사 현미경, JEOL 사, JSM-7500F)을 이용하여 분석 하였다.

### 2.1 MEMS 웨이퍼

본 연구에서 사용한 MEMS 웨이퍼는 얇고 종횡비(aspect ratio)가 큰 캔틸레버 형태의 구조물로서 구조물과 웨이퍼 기판 사이의 높이는  $1.5\mu\text{m}$ 이고 구조물의 최대 종횡비는 약 500이다.

### 2.2 실험장치 및 방법

Case1~Case3의 실험 장치를 Fig. 1.에 도식적으로 나타내었다. Case2,3의 경우 고압 건조기내에 MEMS 웨이퍼를 장착 한 후 이산화탄소를 아세톤과 함께 고압 건조기내로 주입하여 웨이퍼의 이동 없이 고압 건조기 내에서 식각 후 건조기를 승온 하여 고압 건조기내의 액체 이산화탄소를 초임계 이산화탄소로 만들어 기체 상태로 방출 하면서 건조 하였다. Case4의 경우 식각, 세정, 건조 공정 시 모두 초임계 이산화탄소를 사용하기 때문에 공정 도입 전 예열기에 열선을 감아 온도를 승온 시키고, 기체 이산화탄소를 가스 부스터(Haskel사, AGT-30/75)를 이용하여 예열기에 주입하여 예열기내의 이산화탄소를 초임계 상태( $50\sim 70^\circ\text{C}$ ,  $10\sim 13\text{MPa}$ )로 만들어 고압 건조기로 공급 하여 식각, 세정 및 건조를 하였다. Case4의 실험장치의 경우 이산화탄소 가압을 위한 가스 부스터 및 예열기 이외의 것들은 Fig. 1.와 동일하다.

## 3. 결론

기존의 2단계의 공정(Case1)과 연속공정을 각각 수행하여 비교한 결과 기체 이산화탄소를 이용하여 식각 하는 연속공정(Case2), 초임계 이산화탄소를 이용한 연속공정(Case4) 모두 점착 없는 식각, 세정 및 건조를 할 수 있었고, 기존의 2단계 공정에 비해 세정용 용매를 530ml(건조기 부피의 78%) 절감 할 수 있었고, Case2의 경우 많은 실험을

통해 연속공정을 최적화(식각: 3MPa, 25°C, 세정: 5.5MPa, 5~10°C, 건조: 8→0MPa, 35~40°C)하고, 총 14회의 실험을 통하여 최적화된 공정의 재현성을 확인 하였다. 식각 공정에서 사용하는 이산화탄소의 상태(기체, 액체, 초임계 상태)에 따라 연속공정을 구분하여 수행한 결과 액체 이산화탄소를 이용하여 식각하는 연속공정(Case3)의 경우는 액체 이산화탄소와 식각용 공 용매간의 층 분리로 인해 식각이 완전히 이루어지지 않았고, 초임계 이산화탄소를 이용한 연속공정(Case4)의 경우식각, 세정 및 건조공정에서 모두 초임계 이산화탄소를 이용하기 때문에 건조기를 항상 고온(35~40°C)으로 유지 할 수 있어서, 고압건조기의 냉각, 승온이 필요하지 않아 공정시간을 단축 할 수 있었다.

참고문헌

[1]Kazuo, sasto., "Perspective of Micro-Nano Science and Technology" , Journal of the japan society of mechanical engineers, 116(1130), 12-15(2013)  
 [2]Han, G. S., Lim, J. S., Yoo, K. P., "Wafer Cleaning using Supercritical Carbon Dioxide" , Prospectives of industrial chemistry, Vol.9(No.1), 2-11(2006)  
 [3]Jafri, I., Busta, H., and Walsh, S., "Critical Point Drying and Cleaning for MEMS Technology" Proc.-SPIE Int. Soc. Opt. Eng, 3880, 51-58(1999)  
 [4]Tas, N., Sonnenberg, T., Jansen, H., Legtenberg, R. and Elwenspoek, M., "Stiction in surface micromachining," J. Micromech. Microeng., Vol. 6, 385(1996).  
 [5]Jincao, Y. and Matthews, M. A., "Prevention of Photoresist Pattern Collapse Using Liquid Carbon Dioxide," Ind. Eng. Chem. Res, 40, 5858(2001)  
 [6]Lee, Y. W., "Design of Particles using Supercritical Fluids" , Korean J. Chem. Eng. Res.(HWAHAK KONGHAK), Vol. 41(No. 6), 679-688(2004)  
 [7]Han, G. S.: "Supercritical CO2 dry cleaning of nano-pattern semiconductor" , Ph.D.Dissertation, Sogang University, Korea(2009)

	Case2	Case3	Case4
식각 (Etching)	gas CO <sub>2</sub> +Acetone (220ml)	liquid CO <sub>2</sub> +Acetone (220ml)	SC-CO <sub>2</sub> <sup>1)</sup> +Acetone (220ml)
세정 (Rinsing)	liquid CO <sub>2</sub> +Methanol (150ml)	liquid CO <sub>2</sub> +Methanol (150ml)	SC-CO <sub>2</sub> +Methanol (150ml)
건조 (Drying)	SC-CO <sub>2</sub> → gas CO <sub>2</sub>		

1)SC-CO<sub>2</sub>: Super critical CO<sub>2</sub>  
 Table 1. Classification of continuous process according to a state of carbon dioxide used etching, rinsing process

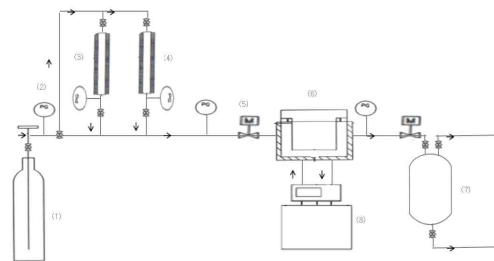


Fig. 1. The schematic diagram of process case1~3  
 (1)Siphon CO<sub>2</sub> cylinder, (2)Pressure Gauge, (3)Etching solvent vessel  
 (4)Rinsing solvent vessel, (5)Metering Valve, (6)MEMS Dryer  
 (7)Vent&Drain Vessel, (8) Circulator

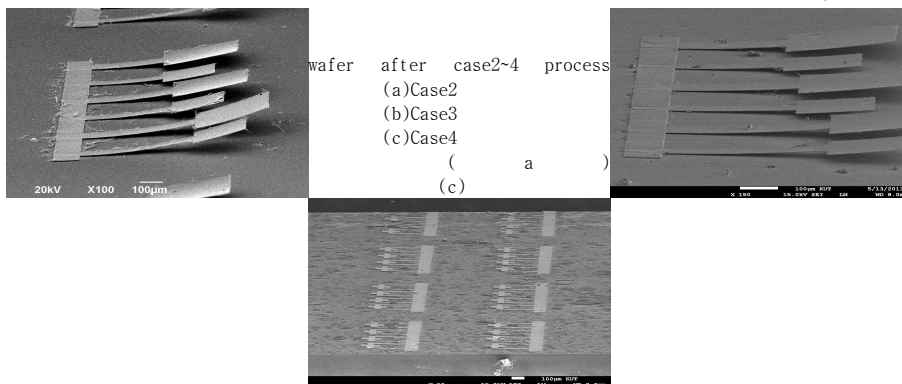


Fig. 2. The SEM images of MEMS