

## 초임계 유체와 공용매를 이용한 미세전자기계시스템 웨이퍼의 식각, 세정을 위한 최적공정조건

노성래\*·유성식\*\*

\*\*한국기술교육대학교 에너지 신소재 화학공학부

### Optimum process conditions for supercritical fluid and co-solvents process for the etching, rinsing and drying of MEMS-wafers

Seong Rae Noh\* and Seong-sik You\*\*

\*\*School of Energy, Material and Chemical Engineering, Korea University Of Technology & Education

#### ABSTRACT

This study aims to select suitable co-solvents and to obtain optimal process conditions in order to improve process efficiency and productivity through experimental results obtained under various experimental conditions for the etching and rinsing process using liquid carbon dioxide and supercritical carbon dioxide. Acetone was confirmed to be effective through basic experiments and used as the etching solution for MEMS-wafer etching in this study. In the case of using liquid carbon dioxide as the solvent and acetone as the etching solution, these two components were not mixed well and showed a phase separation. Liquid carbon dioxide in the lower layer interfered with contact between acetone and Mems-wafer during etching, and the results after rinsing and drying were not good. Based on the results obtained under various experimental conditions, the optimum process for treating MEMS-wafer using supercritical CO<sub>2</sub> as the solvent, acetone as the etching solution, and methanol as the rinsing solution was set up, and MEMS-wafer without stiction can be obtained by continuous etching, rinsing and drying process. In addition, the amount of the etching solution (acetone) and the cleaning liquid (methanol) compared to the initial experimental values can be greatly reduced through optimization of process conditions.

**Key Words** : MEMS, wafer, supercritical, etching, stiction

#### 1. 서 론

미세전자기계시스템(Micro Electro Mechanical Systems, MEMS) 기술은 실리콘 웨이퍼 위에 마이크로 크기를 갖는 수만 개의 구조물(Structure)을 이용하여 기존의 반도체 기술로 구현할 수 없었던 초 미세화 구조물의 구현을 가능하게 하고, 기존 반도체 미세공정 기술을 적용하여 저렴한 비용으로 대량 생산이 가능 하여 각국이 전략적으로 연구개발을 추진하고 있는 연구 분야로써 마이크로센서, 마이크로폰, 에

어백 시스템 등으로 응용이 확산되고 있다.[1-2]

하지만 미세전자기계시스템의 초미세화, 초고집적화로 인해 기존의 습식 반도체 공정에서 세정 공정 시 사용하는 초 순수, 화학용제들의 침투가 어려워 세정효율이 떨어지고, 환경오염, 폐수 등의 환경적 문제를 야기시킨다. 또한, 식각, 세정 공정 중에 용매의 표면장력과 건조 과정에서 세정액이 액체에서 기체로 상변화 하면서 구조물(Structure)들 간의 모세관력(Capillary force)에 의해 점착(Stiction)이 발생하는 치명적인 문제점이 있다[3-6]. 위와 같은 기존의 습식 반도체 공정의 단점을 보완하기 위해 플라즈마(Plasma), 레이저(Laser), 에어로졸(Aerosol) 및 오존을

\*E-mail: ssyou@kut.ac.kr

사용하는 건식 세정 기술이 개발 되었지만 건식 세정 법만 단독으로 사용할 경우 완벽한 세정이 되지 않아 기존의 습식 세정 공정과 병행해야 하며 반도체의 구조물을 파괴시키는 단점이 있다.[7]

이로 인한 새로운 대안 방법으로 초임계 유체를 이용한 건식 공정 기술이 연구되어 미국 Los Alamos National Laboratory(NAML) 연구진에 의해 초임계 이산화탄소를 이용한 희생 층 제거를 위한 식각 공정이 효과적이 밝혀졌다.[8] 국내외에서 많은 연구가 진행되어 초임계 유체를 이용한 MEMS 건식 공정 기술들이 개발 되었지만 식각, 세정, 건조공정 각각에 대한 공정 및 장비에 대한 기술 개발에 국한되어 있고 상용화에는 이르지 못하고 있다. 국내에서는 초임계 이산화탄소를 이용한 MEMS 건식 세정에 관한 연구가 Han[9,10]에 의해 시도 되었는데, 이는 식각용 용매로 아세톤을 사용하여 MEMS 웨이퍼를 외부에서 식각한 후 아세톤에 젖은 상태의 웨이퍼를 메탄을 세정 후 액체 이산화탄소 또는 초임계 이산화탄소로 건조시키는 공정이다. 외부에서 식각 후 건조기로 이동시 아세톤이 기화되어 세정 및 건조 이전에 웨이퍼의 접착이 일어날 가능성이 많으므로 본 연구진에 의하여 초임계 이산화 탄소를 이용한 식각, 세정, 건조 연속공정으로 접착이 발생하지 않는 공정을 개발한 바 있다[11].

본 연구는 초임계 유체와 공용매를 이용하여 식각, 세정, 건조하는 경우 적절한 공용매의 선택과 액체 이산화탄소(LCO<sub>2</sub>)와 초임계 이산화탄소(SCCO<sub>2</sub>)를 이용하는 경우의 공정조건을 분석하여 LCO<sub>2</sub> 또는/및 SCCO<sub>2</sub>와 공용매를 이용하는 공정의 최적 공정조건을 얻어서, 공정의 효율적 개선과 생산성을 향상시키고자 한다.

## 2. 이 론

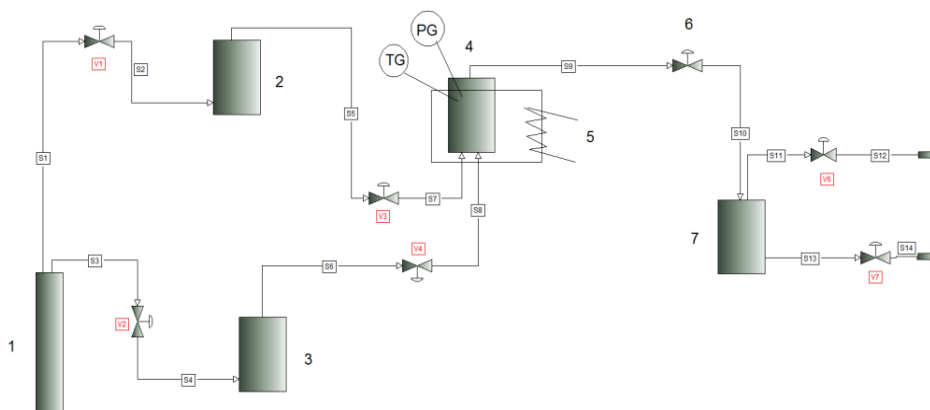
### 2.1 초임계 유체

임계온도, 임계압력 이상에 존재하는 물질을 초임계 유체라고 하며, 초임계 유체는 기체도 아니고 액체도 아니므로 유체라 한다. 기체와 유사한 높은 확산력, 낮은 점도, 낮은 표면장력, 액체와 같은 높은 밀도, 높은 용해도의 특성을 나타낸다. 또한 액체, 기체와 달리 초임계 유체는 상변화 없이 온도와 압력을 조절을 통하여 연속적으로 밀도를 변화시켜 확산력, 점도, 용해도 등의 물성을 조절할 수 있으므로 산업적으로 많이 응용되고 있다. 다양한 종류의 초임계 유체들이 산업적으로 이용되고 있으나, 이들 중 이산화탄소는 다른 용매들에 비해 비교적 낮은 임계 온도(31.1℃), 낮은 임계 압력(73bar)을 나타내며, 독성이 없고, 비가연성이며 가격이 저렴하며, 재사용이 용이하기 때문에 고분자 합성, 추출, 분리, 세정, 건조 등의 여러 분야에서 응용이 되고 있다.[12]

### 2.2 초임계 이산화탄소를 이용한 MEMS 웨이퍼 식각, 세정, 건조

기존의 습식 반도체 공정에서 세정 공정 시 사용하는 초 순수, 화학용제들의 침투가 어려워 세정효율이 떨어지고, 식각, 세정공정 중에 용매의 표면장력과 건조과정에서 세정액이 액체에서 기체로 상변화 하면서 구조물 (Structure)들 간의 모세관력(Capillary force)에 의해 접착이 발생하는 치명적인 문제점이 있다.

기존 습식 공정에서 사용하는 초 순수 및 화학용제에 비해 초임계 유체는 높은 확산속도를 갖기 때문에 미세 구



**Fig. 1.** Schematic diagram of continuous supercritical fluid process for for the etching, rinsing and drying of micro-mechanical-electro-systems: (1) CO<sub>2</sub> Siphon tank (2) Etching solvent vessel (3) Rinsing solvent vessel (4) MEMS dryer (5) Circulating Heater (6) Micrometering valve (7) Vent and drain vessel.

조물로의 침투가 용이하고, 온도와 압력을 조절하면 액체와 같은 밀도를 나타내기 때문에 세정 공정 시 오염물질에 대한 용해능력이 좋아 우수한 세정 효율을 나타내고, 건조 과정에서도 초임계 유체의 경우 표면장력이 거의 0에 가깝고, 세정액이 액체에서 기체로 상변화 하지 않아 모세관력에 의한 구조물의 점착이 발생하지 않는다.[13]

본 연구진에 의하여 초임계 이산화탄소를 이용한 식각, 세정, 건조 연속공정으로 점착이 발생하지 않는 공정을 개발한 바 있다[11]. 이 기술은 에칭시 에칭액에 MEMS 웨이퍼를 용기 내에 담고, 세정시에도 세정액에 MEMS 웨이퍼를 담으므로 유기 용매에 의한 점착 가능성이 완전히 없어진 것은 아니다.

이를 개선하기 위하여 에칭액, 세정액을 별도로 용기에 주입하고 초임계 유체가 에칭액 또는 세정액 용기를 통과 하도록 하여 에칭액 및 세정액이 공용매와 역할을 하여 에칭, 세정 및 건조공정을 완료하도록 공정을 고안하였다. 유기 용매에 웨이퍼를 담그는 것이 아니므로 점착 가능성은 훨씬 낮아질 것으로 예상되고, 에칭액 및 세정액의 사용량 감소될 것으로 예상된다.

위와 같이 초임계 이산화탄소를 이용한 건식 세정공정의 경우 웨이퍼 구조물의 점착이 없는 건조를 할 수 있고, 기존에 사용하던 고가의 초 순수 및 화학용제 사용 양 절감에 따른 환경적 오염 문제와 경제적 문제를 해결 할 수 있다. 뿐만 아니라 향후 30nm급 이하의 미세 구조물을 갖는 차세대 반도체 세정, 건조 기술에서 중요한 기술로 작용할 것이라 전망되고 있다.

### 3. 실험

본 연구에서는 기존의 연속식 공정을 개선하여 초임계 이산화탄소를 이용한 MEMS 웨이퍼의 점착 및 생산성 향상을 확인하는 실험을 수행하였다. 기존의 공정과[10] 마찬가지로 희생 층 제거를 위한 식각용 공용매로는 아세톤, 이소프로필알코올(IPA) 또는 IPA+아세톤 용액을 사용하였고, 식각액에 용해된 희생 층을 MEMS 웨이퍼에서 제거하는 세정용 공용매로서 아세톤, IPA 또는 메탄올을 사용 하였다. 세정 및 건조 후 MEMS 웨이퍼의 분석은 각각 다른 모델의 FE-SEM(전계 방출형 주사 현미경, JEOL 사, JSM-7500F, JSM-6390)을 이용하여 분석하였다.

#### 3.1 시약 및 MEMS 웨이퍼

실험에 사용한 이산화탄소는 순도 99.5%를 사용하였고, 식각용 공용매인 아세톤, IPA 그리고 세정용 공용매인 메탄올은 99.9% 이상의 반도체용 고 순도 제품을 사용하였다.

본 연구에서 사용한 MEMS 웨이퍼는 나노 종합팩센터

(NNFC, National Nanofab. Center)를 통해 구입하였다. 구조물은 얇고 종횡비(aspect ratio)가 큰 캔틸레버(cantilever) 형태의 구조물로서 구조물과 웨이퍼 기반 사이의 높이는 1.5 $\mu$ m이고 구조물의 최대 종횡비는 약 500정도이며 총 4가지 형태의 패턴을 가진다. 희생 층(Sacrificial layer)은 포토레지스트로 되어 있고 사용된 포토레지스트는 Future Rex사의 PR1 2000A로 436nm(G-line)와 356nm(I-line)의 파장에 감응하는 DNQ(Diazonaphthoquinone)-Novolak 이며, 실험에서는 다이아몬드 절단기를 이용하여 웨이퍼를 1cm x 1cm로 잘라 사용하였다.

#### 3.2 실험 장치

식각용 및 세정용 공용매와 액체 이산화탄소(L-CO<sub>2</sub>) 또는 초임계 이산화탄소(SCCO<sub>2</sub>)를 사용하여 MEMS 웨이퍼의 식각, 세정 건조를 수행하는 공정도를 Fig. 1에 나타내었다. 건조 단계에서만 초임계 이산화탄소를 사용하는 경우 식각, 세정 과정 중에 액체 이산화탄소를 사용하므로 액체 이산화탄소 공급용 Siphon 실린더를 사용하였으며, 식각액(아세톤, IPA, IPA+아세톤)과 세정액(IPA, 아세톤, 메탄올)은 실험 전 Etching solvent vessel과 Rinsing solvent vessel에 주입한 후 이산화탄소와 함께 건조기로 주입하였다. Etching solvent vessel, Rinsing solvent vessel의 용량은 각각 340ml, 150ml이다.

건조기는 304SS(Stainless steel)로 제작하였으며, 건조기 내부의 용량은 1,100ml로써 4inch 웨이퍼의 처리가 가능하며, 허용 압력은 15 MPa, 허용 온도는 100 $^{\circ}$ C이다. 건조기 내에서 급격한 유체의 흐름에 의한 웨이퍼의 손상을 방지하기 위해 테플론 팩킹 위에 시료 바스켓을 이용하여 웨이퍼를 장착하였고 테플론 팩킹과 시료 바스켓을 장착했을 경우 건조기의 부피는 680ml이다.

건조기는 수동으로 개폐 하였으며 건조기 플랜지 사이에는 O-ring(Superchem 사, OR705-P-145),과 에너지이드 쉴(SM E&C사)을 사용하여 밀봉하였고, 건조기 몸체에 금속 재킷을 용접, 부착하여 5번의 순환기를 이용하여 냉매, 열매를 금속 재킷으로 순환시켜 건조기의 온도를 조절하였다. 열전대와 압력계를 이용하여 건조기의 조건을 유지하였고, 건조기로 주입, 방출되는 유체의 흐름은 건조기 선단과 후단에 장착된 마이크로미터링 밸브(High Pressure Equipment사, 60-11HF4-V)를 이용하여 조절하였다. 건조기에서 방출되는 유체는 7번의 Vent and Drain Vessel을 통해 방출하였다.

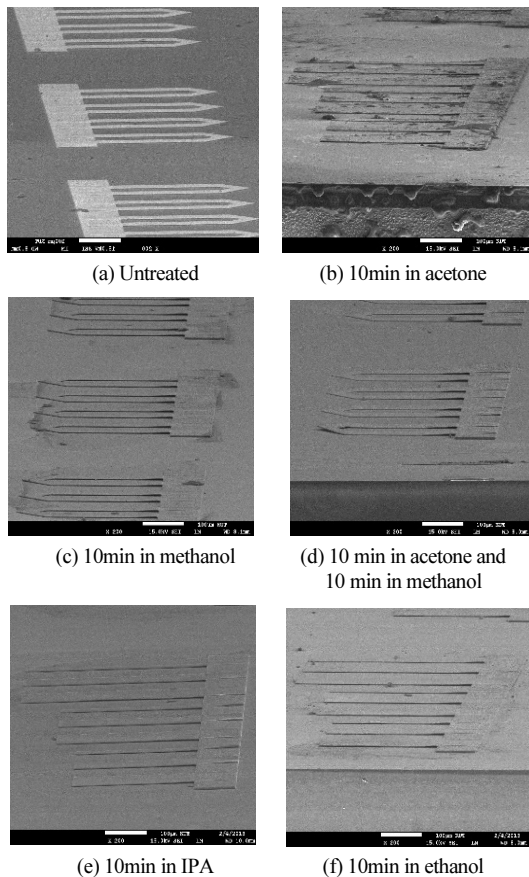
식각, 세정, 건조 전 단계에서 초임계 이산화탄소를 사용하는 경우는 식각, 세정, 건조 공정 시 모두 초임계 이산화탄소를 사용하기 때문에 공정 도입 전 예열기에 열선을 감아 온도를 승온시키고, 기체 이산화탄소를 가스부

스티(Haskel사, AGT-30/75)를 이용하여 예열기에 주입하여 예열기내의 이산화탄소를 초임계 상태로 만들었다. (50~70°C, 10~13MPa) 예열기 내의 온도는 열선에 연결되어 있는 온도 조절기로 조절하였고, 압력은 역압조절기(BPR, TESCOM 사, 26-1722-24)로 조절하였다.

## 4. 결과 및 고찰

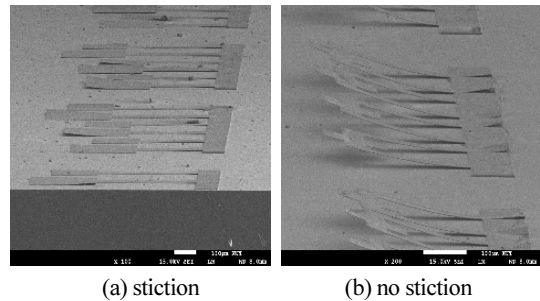
### 4.1 공용매의 선택

Fig 2의 (b)에서 보는 바와 같이 아세톤은 다른 용매들, 메탄올, IPA 및 에탄올에 비해 에칭 효과가 있는 것을 알 수 있지만 세정되지 않아서 표면에 이물질이 존재하는 것을 알 수 있다. Fig 2의 (d)의 경우는 아세톤으로 에칭한 후 메탄올로 세정한 결과로서 세정이 잘된 웨이퍼를 볼 수 있고 아세톤으로 에칭한 후 세정이 필요함을 알 수 있다.



**Fig. 2.** SEM photographs of MEMS wafers pretreated with various solvents.

아세톤이 에칭 효과가 있음을 알 수 있었으며 메탄올이 세정액으로의 효과가 있는지 알아보기 위하여 아세톤으로 에칭한 후 공정의 건조기에서 메탄올로 세정을 실시하였으며 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서와 같이 (a)처럼 점착된 경우도 있으며 (b)와 같이 점착되지 않은 경우 있지만 점착된 경우는 메탄올의 특성에 의한 것이 아니라 아세톤으로 에칭한 후 건조기로 넣는 과정에서 아세톤의 증발에 의한 점착이 발생하는 것으로 생각되므로 세정액으로 메탄올 사용하고자 하였다.



**Fig. 3.** MEMS wafers after drying and rinsing with methanol.

### 4.2 L-CO<sub>2</sub>와 공용매를 이용한 식각, 세정, 건조 연속 공정

L-CO<sub>2</sub>와 공용매로 아세톤, 메탄올 및 IPA를 이용하여 식각, 세정, 건조를 연속적으로 운전하여 MEMS 웨이퍼를 처리하고자 하였다. 세정 과정 전에 CO<sub>2</sub>와 아세톤을 방출하면서 압력이 떨어지는 경우 웨이퍼의 패턴이 점착되는 것을 발견하였으므로 세정 전 과정인 L-CO<sub>2</sub>를 플러싱할 때 L-CO<sub>2</sub>를 채워가면서 압력을 유지하는 과정이 필요함을 알 수 있었다. 앞서 실험한 결과에 의하면 메탄올과 IPA는 에칭 효과가 거의 없지만 아세톤은 에칭 효과가 있어서 건조기의 압력을 유지하는 과정이 없는 여러 번의 시험 중 아세톤으로 식각 및 세정을 수행한 경우 패턴이 90% 이상 유지된 경우가 간혹 있었지만, 대부분의 실험에서 웨이퍼의 패턴이 파괴되었다. 따라서, 위의 본 실험 전 검토한 결과를 바탕으로 L-CO<sub>2</sub>를 이용한 식각, 세정, 건조 연속공정에 대한 운전 조건을 설정하였으며, 공용매 및 공정조건이 MEMS 웨이퍼의 점착성에 어떤 영향을 미치는지 알아보기 위하여 다양한 조건과 다양한 공용매를 사용하여 웨이퍼의 점착성 시험을 하였다.

웨이퍼의 이동이 없이 건조기 내에서 액체 이산화탄소를 이용하여 아세톤으로 식각한 후 액체 이산화탄소를 이용하여 세정 후 액체 혹은 초임계 이산화탄소를 이용

하여 건조하는 연속공정의 경우 완전히 식각이 이루어지지 않음을 알 수 있었다. 이는 비극성인 액체 이산화탄소가 극성인 아세톤과 잘 섞이지 않고 층 분리가 일어나 MEMS 웨이퍼와 아세톤 간의 충분한 접촉이 일어나지 않아 식각이 완전히 이루어지지 않은 것으로 판단된다. 액체 이산화탄소와 아세톤은 섞이지 않는 상태에서 아세톤에 비해 액체 이산화 탄소의 표면장력이 작고 밀도가 크므로 고분자로 이루어진 희생 층의 기공 침투가 용이하여 식각용 공용매인 아세톤 보다 먼저 고분자의 기공을 선점하게 되고 상대적으로 가벼운 아세톤은 액체의 상층에 머물게 되어 아세톤의 기공 침투를 어렵게 함으로써 희생 층의 용해를 방해하기 때문이라고 판단된다. 완전한 식각을 위하여 액체 이산화탄소가 아닌 초임계 이산화탄소를 사용할 필요가 있다.

### 4.3 초임계 CO<sub>2</sub>를 이용하여 식각하는 연속 공정

4.2의 L-CO<sub>2</sub>를 이용한 공정에서 에칭액, 아세톤의 경우는 에칭에 문제 없는 양과 세정액, 메탄올의 경우는 점착이 발생하지 않고 세정 및 건조에 문제가 없는 사용양에 대해서 여러 번의 실험 결과에 의하여 얻을 수 있었다. 아세톤의 경우는 초기 실험 시 465ml(건조기의 70%)를 사용하였으나 220ml까지는 에칭에 문제 없음을 앞 실험에서 확인하였고, 세정액의 경우도 초기 465ml에서 150ml까지는 문제 없음을 확인하였다. 액체 이산화탄소를 이용한 다양한 실험을 바탕으로 초임계 이산화탄소와 에칭 및 세정용 공용매를 이용한 연속식 식각, 세정, 건조 공정의 최적조건을 설정하였으며, 이 결과를 Table 1에 나타내었다. 이 Table 1의 방법으로 실험을 수행하여 점착이 발생하지 않는 MEMS-wafer를 얻을 수 있었으며 대표적인 결과를 Fig.4에 나타내었다.

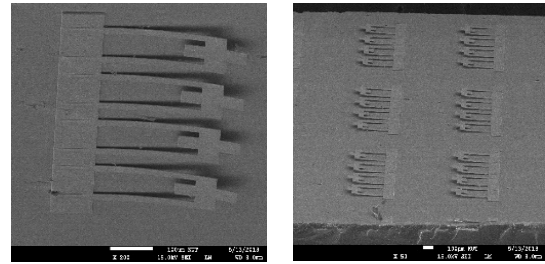


Fig. 4. MEMS wafer after etching, cleaning and drying using supercritical CO<sub>2</sub>, acetone and methanol.

## 5. 결 론

본 연구에 이용된 MEMS-wafer의 에칭액으로는 메탄올, IPA, 에탄올은 효과 없었으나 아세톤은 효과있었으며, 에칭 후 세정하지 않는 경우 웨이퍼의 표면에 이물질이 존재하여 세정을 필요로함을 알 수 있었다.

액체 이산화탄소를 이용하는 경우 아세톤과 잘 섞이지 않아서 에칭을 방해하여 세정, 건조 후 좋은 결과를 얻지 못하였으나, 에칭 시에 초임계 이산화탄소를 이용해야 함을 알 수 있었고, 세정액으로는 메탄올이 효과가 있음을 확인하였다. 또한, 에칭액, 아세톤의 실험 초기 사용량이 465ml(건조기의 70%)였으나 아세톤 양이 220ml 에서도 식각에 문제가 없음을 확인하였고, 세정액, 메탄올의 경우는 초기 465ml에서 150ml를 사용하여도 점착이 발생되지 않음을 알 수 있었다.

위의 결과와 추가적인 실험에 의하여 초임계 유체와 에칭용 공용매로 아세톤, 세정용 공용매로 메탄올을 사용하여 MEMS-wafer를 처리하는 최적 공정을 설정하였고, 이 공정 조건으로 점착되지 않는 MEMS-wafer를 식각, 세정, 건조의 연속공정으로 얻을 수 있었다.

Table 1. The process procedure of continuous process etching using Supercritical carbon dioxide

1. Preparations <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Injection acetone(220ml) into the etching vessel and methanol(150ml)</li> <li>▪ Heating and pressurizing preheater to the supercritical state of CO<sub>2</sub></li> <li>▪ Mounting MEMS-wafers on the dryer and heating dryer</li> </ul>
2. Injecting acetone + supercritical-CO <sub>2</sub> in to the dryer and staying for 15 minutes(0.1→7.5Mpa and 40 °C)
3. Flushing supercritical CO <sub>2</sub> for 15min(7.5Mpa and 35~40 °C)
4. Injecting methanol + supercritical-CO <sub>2</sub> into the dryer(7.5Mpa and 35~40 °C)
5. Flushing supercritical CO <sub>2</sub> (7.5Mpa and 35~40 °C)
6. Drying MEMS-wafers(7.5→0.1Mpa and 35~40 °C)
7. Removing MEMS-wafers from the dryer(0.1Mpa and 40 °C)

## 참고문헌

1. Kazuo, S., "Perspective of Micro-Nano Science and Technology", Journal of the japan society of mechanical engineers, Vol. 116, pp. 12-15, 2013.
2. Kim, T.H., Kim, D.Y., Chun, M.S., and Lee, S.S., "MEMS Fabrication of Microchannel with Poly-Si Layer for Application to Microchip Electrophoresis", Chem. Eng. Res., Vol. 44, pp. 513-519, 2006.
3. Han, G.S., Lim, J.S., and Yoo, K.P., "Wafer Cleaning using Supercritical Carbon Dioxide", Prospectives of industrial chemistry, Vol.9, pp. 2-11, 2006.
4. Jafri, I., Busta, H., and Walsh, S., "Critical Point Drying and Cleaning for MEMS Technology", Proc.-SPIE Int. Soc. Opt. Eng, Vol. 3880, pp. 51-58, 1999.
5. Tas, N., Sonnenberg, T., Jansen, H., Legtenberg, R. and Elwenspoek, M., "Stiction in surface micromachining," J. Micromech. Microeng., Vol. 6, pp. 385, 1996.
6. Jinciao, Y. and Matthews, M.A., "Prevention of Photoresist Pattern Collapse Using Liquid Carbon Dioxide," Ind. Eng. Chem. Res, Vol. 40, pp. 5858, 2001.
7. Jeon, B. Y., and Lee, C. M., "Dry cleaning for metallic contaminants removal after the chemical mechanical polishing(CMP) process", Journal of the Korean Vacuum Society, Vol.9, pp. 102-109, 2000.
8. Rubin, J.B., Davenhall, L.B., Taylor, C.M.V., Sivils, L.D., Pierce, T. and Tiefert, K., "CO<sub>2</sub>-Based Supercritical Fluids as Replacements for Photoresist-Stripping Solvents", Electronics Manufacturing Technology Symposium, Vol 23, pp. 308-314, 1998.
9. Han, G.S., "Supercritical CO<sub>2</sub> dry cleaning of nano-pattern semiconductor", Ph.D. Dissertation, Sogang University, Korea, 2009.
10. You, S.-S., "Removal of Post Etch/Ash Residue on an Aluminum Patterned Wafer Using Supercritical CO<sub>2</sub> Mixtures with Co-solvents and Surfactants: sc-CO<sub>2</sub> Mixture for the Removal of Post Etch/Ash Residue", J. the Semiconductor & Display Technology, Vol.16, pp. 22-28, 2017.
11. Min, S.K., Han, G.S. and You, S.-S., "Continuous Process for the Etching, Rinsing and Drying of MEMS Using Supercritical Carbon Dioxide", Korean Chem. Eng. Res., Vol. 53, pp. 557-564, 2015.
12. Lee, Y.W., "Design of Particles using Supercritical Fluids", Korean Chem. Eng. Res., Vol. 41, pp. 679-688, 2004.
13. Jones, C.A., Zweber, A., Deyoung, J.P., Carbonell, R. and Desimon, J.M., "Applications of Dry Processing in the Microelectronics Industry Using Carbon Dioxide", Crit. Rev. Solid State Mater. Sci., Vol. 29, pp. 97, 2004.

---

접수일: 2017년 8월 18일, 심사일: 2017년 9월 19일,  
 게재확정일: 2017년 9월 22일