Dry-ice snow를 이용한 정밀부품 표면 오염 제거

*김태영, 정광조, 김두형
한국기계연구원 지능형 정밀기계 연구본부

Removal of Surface Contaminant on Precision Component Using Dry-ice Snow.

*T.Y. Kim, G. J. Chung, D. H. Kim
Intelligence & Precision Machine Research Division, Korea Institute of Machinery & Materials

Key words : Carbon dioxide, Dry-ice, snow, Cleaning, Surface, Precision Component, Contamination

1. 서론

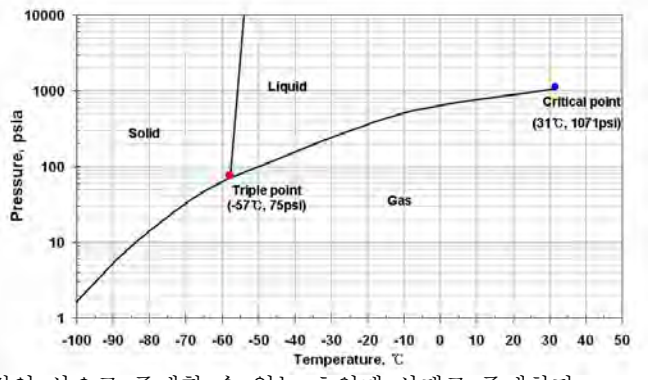
Dry-ice 세정은 환경 친화적 특성으로 인해 기존의 화학적, 기계적 세정 방법들이 발생시키는 오염물질의 발생을 줄일 수 있는 청정기술로 주목 받고 있다.

액체나 기체 상태의 이산화탄소를 단열팽상 시켜 dry-ice snow 입자를 생성하고 운반기체를 이용해 가속하여 세정대상의 표면에 충돌시키면 그 운동에너지와 순각적인 액화에 의해 표면에 고착되어있는 입자 및 유기 오염물을 제거할 수 있다. 이때 충돌되는 입자들은 서브마이크론 이내의 작은 입자이고, 경도가 낮기 때문에 세정대상의 표면의 마모, 손상을 최소화 할 수 있어, 광학부품, 정밀부품 및 다양한 세정대상 표면의 오염을 제거하는데 사용될 수 있다. 또한 dry-ice snow를 세정 매개체로 하여 오염을 제거하게 되면 세정과 동시에 대기로 환원되어 재처리해야 할 2차 오염물을 생성하지 않는다. 본 연구는 정밀부품의 표면에 오염으로 존재할 수 있는 지문과 oil 오염에 대한 dry-ice snow의 제거 효과를 관찰하였다.

2. 이론 및 원리

2.1 Dry-ice 생성

이산화탄소의 삼중점은 열역학적으로 평행하게 3가지 상이 동시에 존재할 수 있는 온도와 압력(-57℃, 75psi)으로 정의된다. 또한 임계점(31℃, 1071psi) 이상에서는 액체상과 기체상이 독립



적인 상으로 존재할 수 없는 초임계 상태로 존재한다.

Fig. 1 CO_2 Temperature-Pressure phase diagram

실온에서 이산화탄소 실린더에 액체 이산화탄소를 채우면, 액체 위쪽에서 약 800psi의 기체 압력을 갖는다. 이러한 이산화탄소는 orifice를 통과하면서 dry-ice snow를 생성한다. 기체상태의 이산화탄소를 공급원으로 사용할 때 압력이 orifice를 통과함에 따라, 액체방울이 핵을 형성하고 액체의 백분율이 증가하게 된다. 그리고 액체-기체 영역과 기체-고체 영역간의 경계인 75psi에서 액체는 고체로 전환된다. 그리고 액체를 공급원으로 사용할 경우 압력이 orifice를 통과할 때, 기체-고체 경계를 만날 때 까지 기체 방울이 형성되고 기체의 백분율이 증가하게 되고 잔여 액체가 고체로 변하게 된다. 일반적으로 공급원이 기체 상태인 경우 순도가 높으며, 액체 상태인 경우는 규모가 크고 빠른 속도의 세정에 사용된다.

2.2 Dry-ice의 세정작용

Dry-ice snow에 의한 세정원리는 복합적 작용으로 다음과 같이 크게 5가지 mechanism으로 설명된다.

1) 공기역학적 항력(Aerodynamic drag force).
2) Dry-ice snow 입자의 충돌에너지(Momentum transfer).
3) Dry-ice snow 액화에 의한 용해력(Solubility of liquid CO_2)
4) 모재와 오염의 열적차이(Temperature variation)
5) 열영동에 의한 제거(Thermophoresis)

이산화탄소의 특징은 고체와 기체상의 경계가 존재하여 이 경계에서 고체가 액체 상태로 변하지 않고 기체로 바로 승화한다. 때문에 dry-ice snow는 위와 같은 세정작용에 의해 오염물을 제거한 후 주변의 대기압, 상온에 안정한 기체로 변화한다. 이때 제거된 오염물은 안정된 기체와 함께 기류에 실려 이동한다.

이러한 dry-ice snow를 이용한 세정에 영향을 미치는 요인들은 환경, 세정대상, 분사방법 등이 있으며, 조건에 따라서 세정효과가 다르게 나타난다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

실험을 위해 사용한 장치는 정밀세정을 위하여 needle valve로 snow의 분사량을 조절할 수 있다. 그리고 외부 오염에 대한 영향을 최소화하기 위하여 작업공간 내에 HEPA filter와 fan이 설치되었다. 또한 snow tube와 propellant tube에는 0.01㎛의 membrane filter를 설치하여 분사되는 dry-ice snow에 이물질이 포함 되는 것을 방지하였다. 그리고 분사되는 snow가 모재 표면에 응집되거나 수분을 형성하는 것을 막기 위하여 heater를 부착하여 작업공간 내의 온도와 propellant의 온도를 설정하고 유지 할 수 있도록 되어있다.

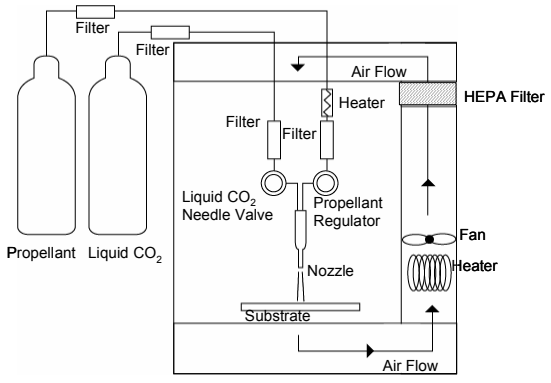


Fig. 2 Schematic diagram of dry-ice snow cleaning system

3.2 실험방법

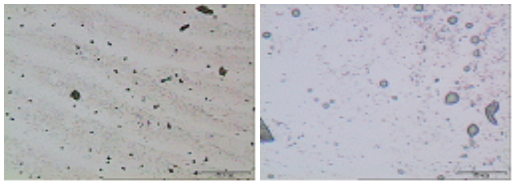
정밀부품의 표면 오염물 세정 실험을 위한 시편은 표면에 결함이나 오염이 없고, 균질한 표면을 가지고 있어 관찰이 용이한 Si-wafer를 선택하였다. 그리고 오염으로는 생산 공정 중 발생할 수 있는 표면 오염인 지문과 oil을 선택하여 Si-wafer 표면에 오염시킨 후 dry-ice snow를 분사하여 시편에서의 오염물을 제거하였다.

실험에 사용된 이산화탄소는 순도 99.9%인 액체 이산화탄소이며, propellant는 순도 99.999%의 N2 gas를 사용하였다. 그리고 needle valve를 0.8바퀴 회전시켜 Si-wafer에서 약 2~3㎝의 간격을 유지한 상태에서 80psi로 분사하였다. 이때 분사되는 dry-ice snow는 세정시 극저온으로 분출되기 때문에 대기의 습기를 급랭시켜 시편 표면위에 수분의 응결을 형성시킬 수 있다. 이러한 수분의 응결은 시편 표면을 극저온으로 냉각시켜 표면을 손상시킬 수 있으며, water-mark와 같은 잔사를 생성하는 작용을 한다. 때문에 본 실험에서는 작업공간내의 온도를 45℃를 유지하는 한편 propellant tube의 온도를 70℃ 이상 유지하며 dry-ice snow를 분사하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 지문세정

지문은 일반 산업에서 존재할 수 있는 대표적 표면오염 중 하나이다. 지문은 유기성 물질로서 정밀하고 민감한 광학부품 및 전자부품의 표면에 생성되면 제품의 성능 및 정밀성의 저해 요인으로 제거가 필수적이다. 이러한 지문 오염에 대한 dry-ice snow 세정의 효과를 관찰했다.



× 50 × 500

a) Fingerprint on Si-wafer surface

× 50 × 500

b) After dry-ice snow cleaning

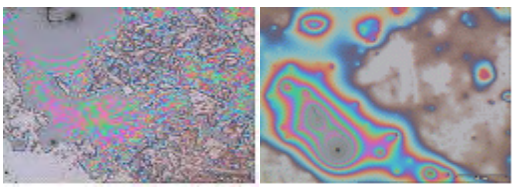
Fig. 3 Micrographs of finger print contaminated and dry-ice snow cleaned Si-wafer

Si-wafer에 오염된 지문은 손의 유기성 물질과 particle로 오염되어 있다. 이러한 지문 오염은 고압의 공기를 분사하여도 제거되지 않는 고착성을 가지고 있다. 때문에 빠른 유속의 공기라 하더라도 표면에 고착되어 있는 유기성의 지문을 제거하지 못해 일반적으로 알코올이나 에테르벤젠과 같은 유기용매를 사용하여 제거하고 있다.

이러한 지문 오염을 dry-ice snow를 이용하여 제거할 수 있음을 Fig. 3에서 확인할 수 있다. 또한 세정 후의 Si-Wafer 표면에 마모나 긁힌 흔적과 같은 손상은 물론 water-mark와 같은 잔사가 존재하지 않음을 확인할 수 있다.

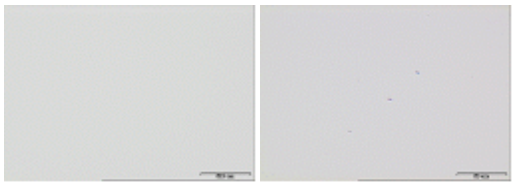
4.2 Oil 제거

정밀기기 또는 정밀기계에 사용되어지는 금속이나 비금속의 절삭 또는 연마 등의 공정에서 원활한 작업을 위해 다양한 oil을 사용하게 된다. 이때 발생되는 oil과 금속 칩 및 이물질이 완전히 제거되지 않으면 후처리 공정인 조립, 도장, 도금 등의 과정을 원활히 수행할 수 없기 때문에 oil의 제거는 수반되어야 한다, 이러한 oil 오염에 대한 dry-ice snow 세정의 효과를 관찰했다.



× 50 × 500

a) Oil on Si-wafer surface



× 50 × 500

b) After dry-ice snow cleaning

Fig. 4 Micrographs of oil contamination and dry-ice snow cleaned Si-wafer

Si-wafer에 오염된 oil은 유기성 오염으로 세정방법은 지문과 마찬가지로 화학약품에 의존하고 있다. 하지만 dry-ice snow가 표면에 충돌할 때 순간적으로 일부분이 액체상태가 되어 표면의 유기물을 용해하여 표면으로부터 분리시킬 수 있다. 이러한 mechanism이 작용하기 때문에 기존에 solvent에 의존하고 있는 oil과 같은 유기오염의 제거에도 dry-ice snow를 적용할 수 있다.

Fig. 4의 사진에서와 같이 표면의 oil이 깨끗이 제거 되었으며, 표면에 손상이나 잔사가 없음을 확인할 수 있다.

4. 결론

Dry-ice snow를 이용한 세정은 정전기, Van der Waals, 확산 등의 단순부착 상태의 오염뿐만 아니라 일반 산업에서 존재할 수 있는 유기성 오염인 지문과 oil 오염의 제거가 가능했으며, Si-Wafer 표면에 손상이나 잔사를 남기지 않았다. 또한 dry-ice snow를 이용한 세정은 세정 대상(크기, 형태, 점착력)에 따라 snow 분사량, propellant의 압력 등의 변수에 의해 충돌에너지를 조절할 수 있어 여러 종류의 모재와 오염에 적용할 수 있다. 또한 세정시 모재의 손상을 최소화 할 수 있기 때문에 광학 및 정밀부품 뿐 아니라 문화재와 같은 분야에도 적용될 수 있다.

현재 외국에서는 dry-ice snow를 이용하여 반도체 웨이퍼 위의 미세입자 세정과 병원 소독용 의료장비, 식품공장의 복잡항 기계장치 세정에 일부 사용되어지고 있다. 국내에서도 기업체 및 대학에서의 연구가 진행되고 있으나 현재 사용되어지는 화학약품에 대한 환경규제 및 사용제한에 대비하여 보다 활발한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. Robert Sherman, Paul Adam "Carbon dioxide snow cleaning -the next generation of clean," Precision Cleaning '95 Proceedings, 271-300
2. E. A. Hill, D. R. Monroe, "Carbon dioxide cleaning ; Going Through Phase ; A Panel discussion of CO_2 Cleaning Technology," CleanTech'99, July/August, pp.26-35, 1999
3. 나영민, 김호태, 김선근, "가속 드라이아이스 snow impact에 의한 도막 제거속도의 측정," Clean Technology, Autumn 2004, 10(4), 177-187
4. 박종수, 김호태, 김선근, "드라이아이스 펠렛 세정장치 및 공정개발" Clean Technology, Autumn 2004, 10(3) pp.121-130
5. Robert Sherman, John Grob, and Walter Whitlock, "Dry surface cleaning using CO_2 snow," Journal of Vacuum Science, B8, 1970, 1991
6. Robert Sherman, Drew Hirt and Ronald Vane, "Surface cleaning with the carbon dioxide snow jet,"Journal of Vacuum Science, A12, 1876, 1994