

# 마이크로 고체 추진제 추력기 요소의 가공 방법 및 성능 평가

이종광 · 박종익 · 권세진\*

## Fabrication method and performance evaluation of components of micro solid propellant thruster

Jongkwang Lee · Jongik Park · Sejin Kwon\*

### ABSTRACT

Micro solid propellant thruster is the most feasible for development with current MEMS. Basic components of micro solid propellant thruster are diverging nozzle, micro igniter, combustion chamber, and solid propellant. Micro nozzles and micro chambers were fabricated using photosensitive glass by anisotropic wet etching technique. Micro Pt heaters on glass membrane which ignited solid propellant were developed. Components of thruster were integrated. Successful ignition was observed.

### 초 록

마이크로 고체 추진제 추력기는 현재의 MEMS 기술로 가장 실현 가능성이 높은 마이크로 추력기이다. 마이크로 고체 추진제 추력기의 기본 요소로는 마이크로 노즐, 마이크로 점화기, 연소 챔버 그리고 고체 추진제이다. 마이크로 노즐과 연소 챔버는 감광유리의 이방성 식각을 통해 제작이 되었다. 마이크로 점화기는 마이크로 유리 박막 백금 히터를 사용하였다. 요소들의 제작 공정을 확립 후, 요소들을 통합하여 추력기를 개발하였다. 추력기의 연소 실험을 수행하여 성공적으로 연소가 일어남을 확인하였다.

Key Words: Micro Solid Propellant Thruster(마이크로 고체 추진제 추력기), Micro nozzle(마이크로 노즐), Micro Igniter(마이크로 점화기)

### 1. 서 론

마이크로/나노 위성체의 개발과 함께 위성체의 자세 제어 및 궤도 수정을 위한 마이크로 추

진 시스템의 개발이 필요하게 되었다. 마이크로 추진 시스템의 개념들로는 마이크로 이중 추진제 추력기, 단일 추진제 추력기 그리고 고체 추진제 추력기 등이 있다. 이 중 고체 추진제 추력기는 움직이는 부품이 없고, 구조가 단순하여 상대적으로 제작이 용이하다는 장점이 있어 미국 캘리포니아 공과대학교, 프랑스 국립 과학 연구

\* KAIST 항공우주공학과  
연락처, E-mail: trumpet@kaist.ac.kr

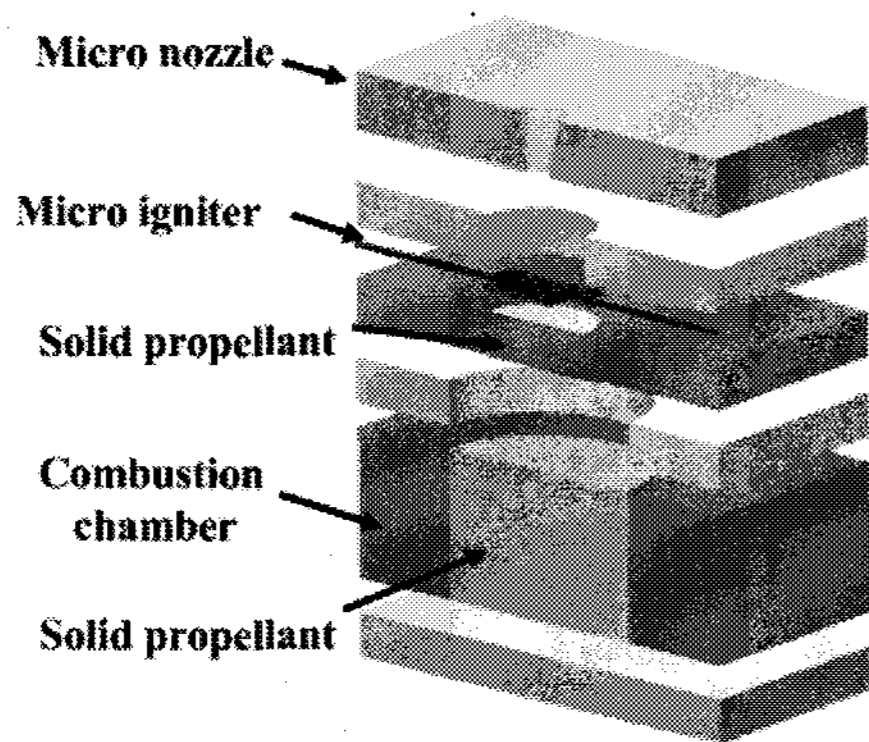


Fig. 1 Schematic of micro solid propellant thruster

소, 싱가포르 국립 대학교, 일본의 동북 대학교 그리고 국내에서는 KAIST에서 다양한 연구들이 진행 중이다 [1~5]. Figure 1은 KAIST에서 개발을 목표로 하고 있는 마이크로 고체 추진제 추력기의 개념도이다. 추력기의 기본 요소로는 마이크로 노즐, 마이크로 점화기, 마이크로 연소 챔버 그리고 고체 추진제이다. 이 연구의 목표는 마이크로 고체 추진제 추력기의 요소 제작 방법을 확립하고, 통합하는 것이다.

## 2. 마이크로 노즐 및 연소 챔버의 제작

마이크로 추력기의 노즐 및 연소 챔버를 제작할 경우, 고려해야 할 사항은 높은 종횡비를 갖는 구조체 가공의 용이성과 제작된 연소 챔버가 추력기의 고온, 고압의 환경을 견딜 수 있는 지 여부이다. 이와 같은 상황을 고려하여 이 연구에서는 감광 유리를 노즐 및 연소 챔버의 재료로 선택하였다. 감광 유리의 경우 비등방성 식각을 통하여 높은 종횡비를 가지는 구조체의 제작이 가능하며, 열전도 계수가 실리콘에 비해 100배 이상 작은  $1.35 \text{ W/mK}$ 로서 열적 특성 또한 우수하다. 연소 챔버의 제작 시, 열전도 계수가 작은 물질을 선택해야 하는 이유는 마이크로 연소 챔버는 표면적 대 체적비가 큰 값을 가지게 되어 많은 열손실을 동반하므로, 낮은 열전도 계수를 가지는 물질을 챔버의 재료로 사용해야 열손

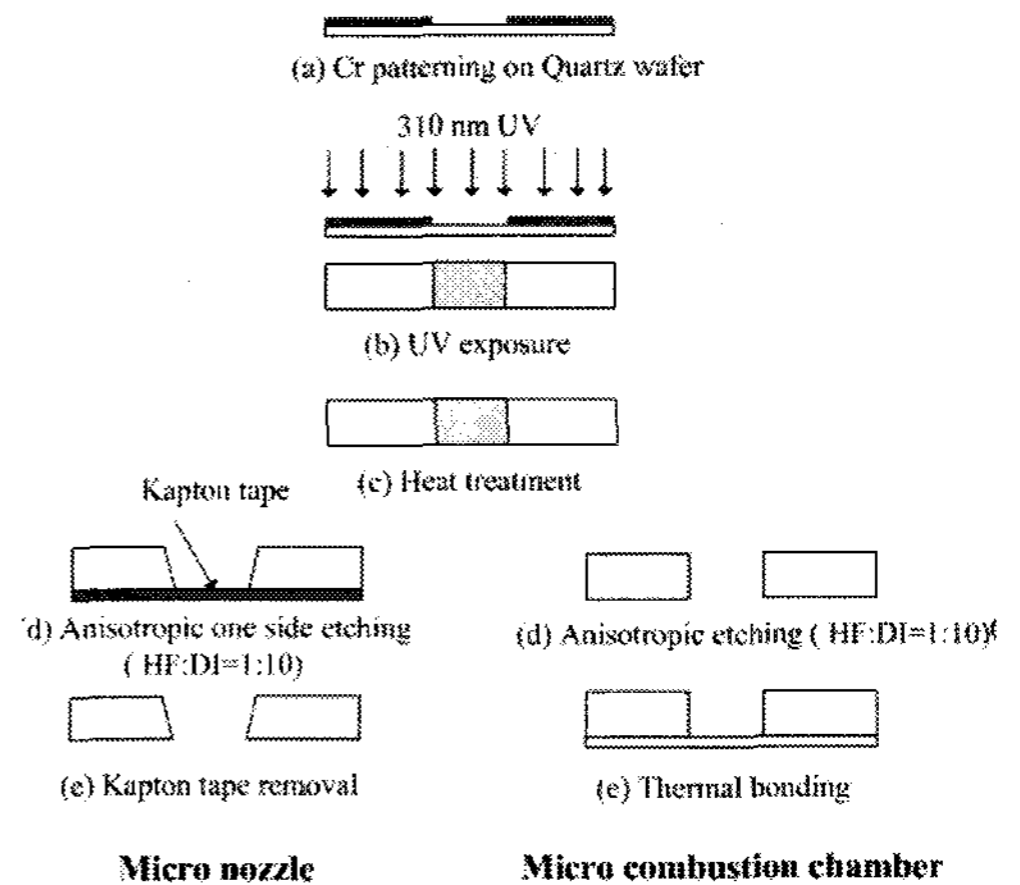


Fig. 2 Fabrication method of micro nozzle and combustion chamber

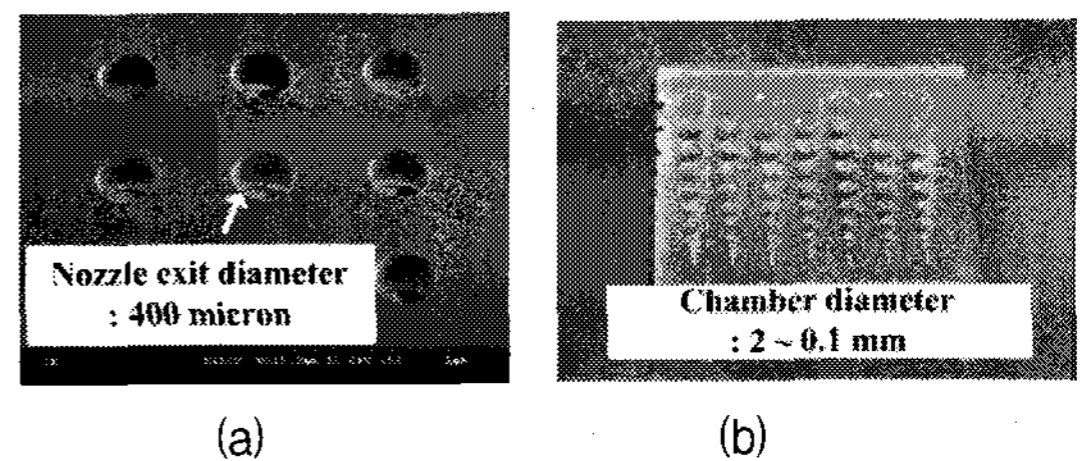


Fig. 3 (a) SEM image of micro nozzle  
(b) Combustion chamber containing propellant

실을 최소화 할 수 있기 때문이다. 마이크로 노즐 및 연소 챔버 제작을 위한 감광 유리 공정도는 Fig. 2에서 제시되어 있다.

마이크로 노즐은 불산 용액에 식각 시, 캡톤 테이프를 사용하여 한 면을 불산 용액으로부터 보호하여 과도한 경사 식각을 유도하며 제작하였다. 제작된 마이크로 노즐의 목 직경은  $310 \mu\text{m}$ , 노즐 출구는  $400 \mu\text{m}$ 였다. 마이크로 연소 챔버의 경우는 양면으로 불산 용액에 식각하여, 챔버 내부의 단면적에 큰 차이가 없도록 마이크로 챔버를 제작하였다. 제작된 마이크로 챔버에 HTPB/AP 추진제를 충전하였다. 추진제의 충전은 점도가 높은 상태의 추진제를 진공에서 기포를 제거하고,  $60^\circ\text{C}$ 의 노에서 경화시킨 후, 챔버를 위에 올려놓고 압력을 가하며 충전하였다. Fig. 3의 (a)는 제작된 마이크로 노즐의 SEM 사진이며, (b)는 직경이  $100 \mu\text{m} \sim 2 \text{ mm}$  인 연소

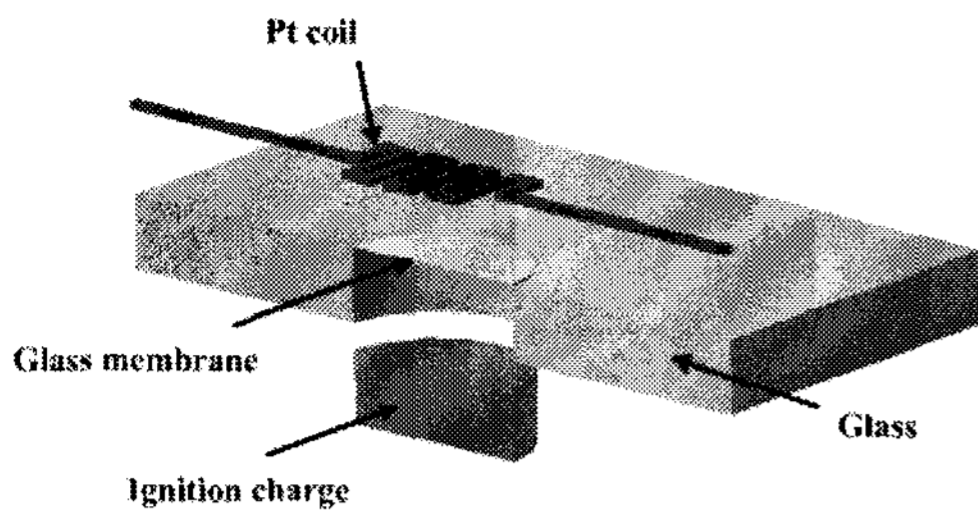


Fig. 4 Schematic of micro igniter

챔버에 추진제가 충전되어 있는 사진이다.

### 3. 마이크로 점화기의 제작 및 성능 평가

#### 3.1 마이크로 점화기의 설계

마이크로 점화기로는 줄열을 사용하는 마이크로 히터를 사용하였다. 히터의 물질로는 온도 변화에 있어 높은 안정성을 가지며, 대기 중에서 산화 현상이 발생하지 않아 성능에 변화가 없는 백금을 선택하였다. 점화기의 기판으로는 유리 박막을 형성하기 위하여 감광성 유리를 선택하였다. Figure 4는 마이크로 유리 박막 마이크로 점화기의 개념도이다.

유리 박막 마이크로 점화기는 감광 유리를 이용하여 제작된다. 자세한 공정도는 Fig. 5에 제시되어 있으며, 유리 박막 마이크로 점화기의 제작 공정은 다음과 같다. 유리 박막을 형성하기 위한 준비 단계로 우선 박막을 형성할 영역의 감광 유리를 310 nm 파장의 UV에 노광을 한다. 이후 감광 유리를 열처리하여 박막이 형성될 영역을 재결정화 한다. 재결정화 과정을 거치며 고온의 노(furnace)에 노출된 감광 유리의 표면은 매우 거칠게 되어 패터닝 작업이 힘들게 된다. 이와 같은 이유로 열처리 공정 이후, 표면처리를 하여 표면을 매끄럽게 한다. 이후 감광 유리 기판의 앞면에 감광제(PR, photoresist) 리소그래피(lithography) 공정을 통하여 점화기가 형성될 면의 감광제를 제거한다. 이후 스퍼터(sputter)를 사용하여 백금 층 접착력을 위한 티타늄을 200 Å 증착한 후, 백금을 2000 Å 증착하면 유리 기

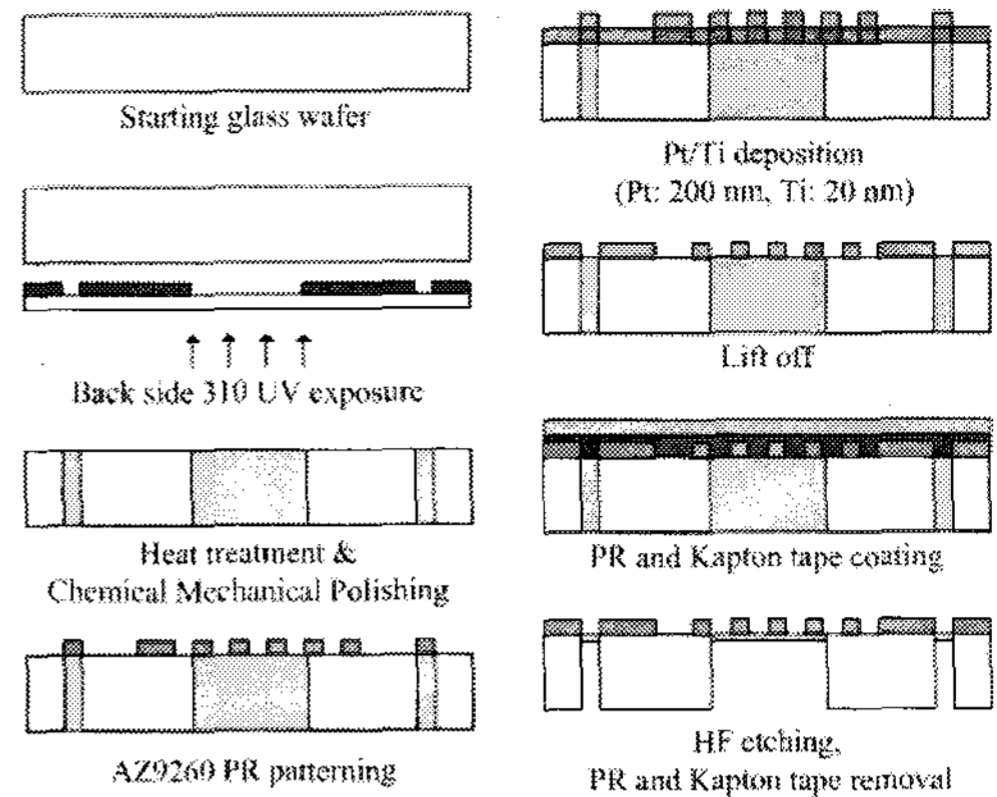


Fig. 5 Fabrication method of micro igniter.

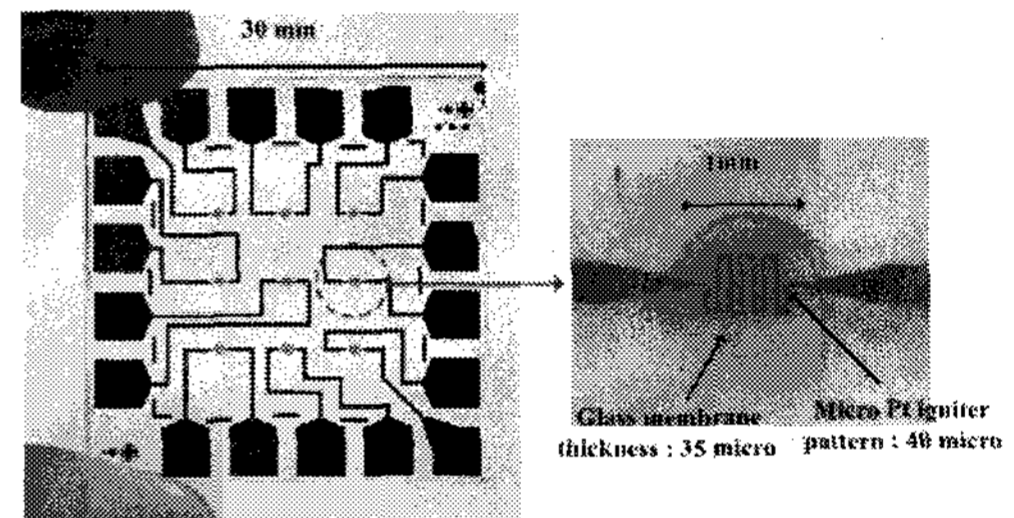


Fig. 6 Fabricated micro igniter

판 표면은 선택적으로 백금/티타늄 층과 백금/티타늄/감광제 층이 존재하게 된다. 다음으로는 웨이퍼를 아세톤 용액으로 처리하면 백금/티타늄/감광제 층이 박리된다. 이 과정을 통해 점화기 형상으로 패터닝된 영역에만 백금/티타늄 층이 남아있게 된다. 이후 백금 점화기가 형성된 앞면을 불산(HF) 희석 용액으로부터 보호하기 위하여 감광제를 입히고, 캡톤 테이프로 앞면을 덮는다. 이와 같은 공정을 거친 후 감광 유리를 불산 희석 용액에 담그면 재결정화가 된 영역만 식각되게 된다. 식각 시간을 조절하여 유리 박막의 두께를 조절한다. 식각 작업이 끝난 후 앞면의 캡톤 테이프를 제거하고 이를 아세톤 용액에 넣어 감광제를 제거하게 된다. Figure 6은 제작된 유리 박막 마이크로 백금 점화기의 사진이며, 박막의 지름은 1 mm이며, 백금 패터닝의 폭은 40 μm 였으며, 박막의 두께는 35 μm 였다.

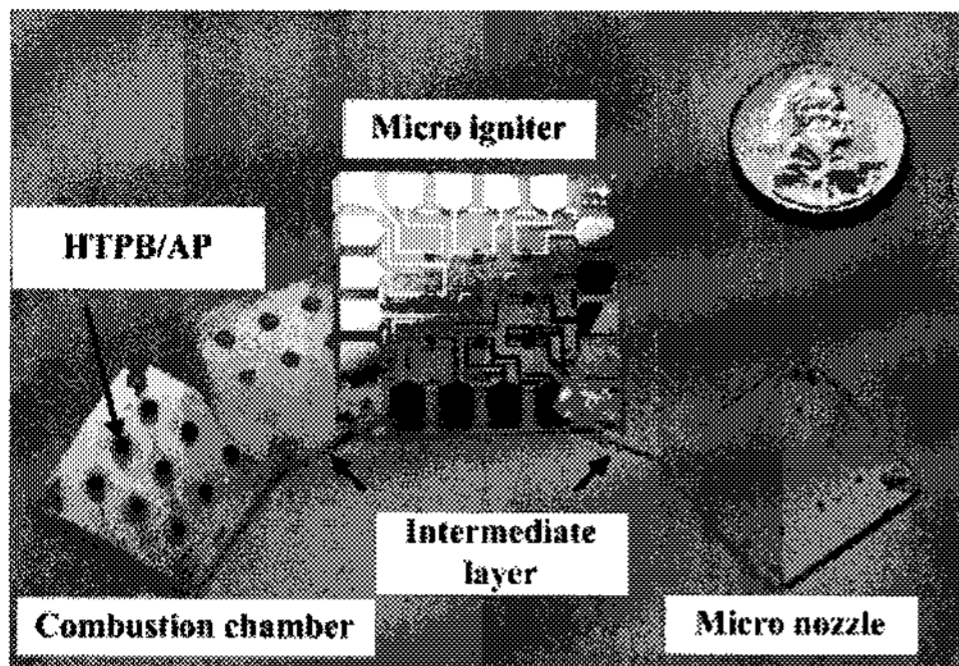


Fig. 7 Components of micro solid propellant thruster

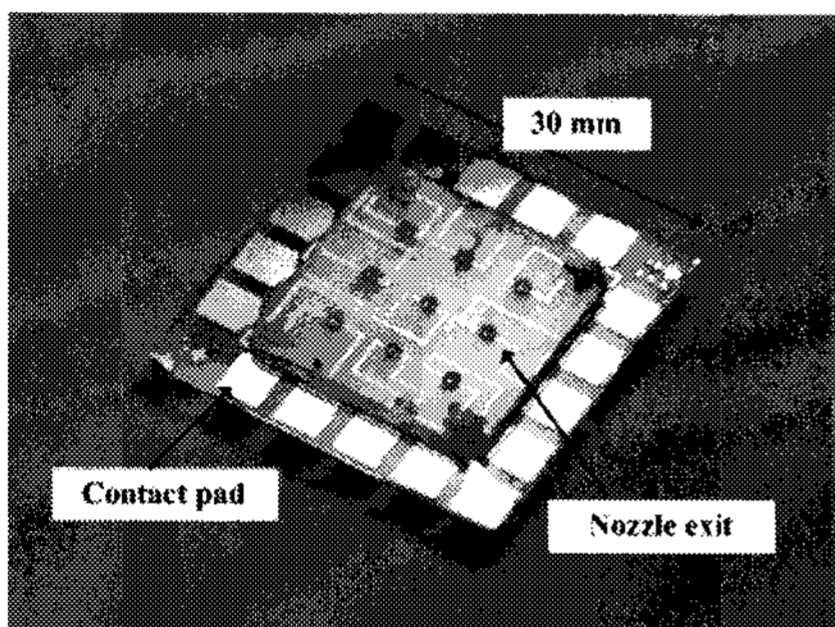


Fig. 8 Micro solid propellant thruster

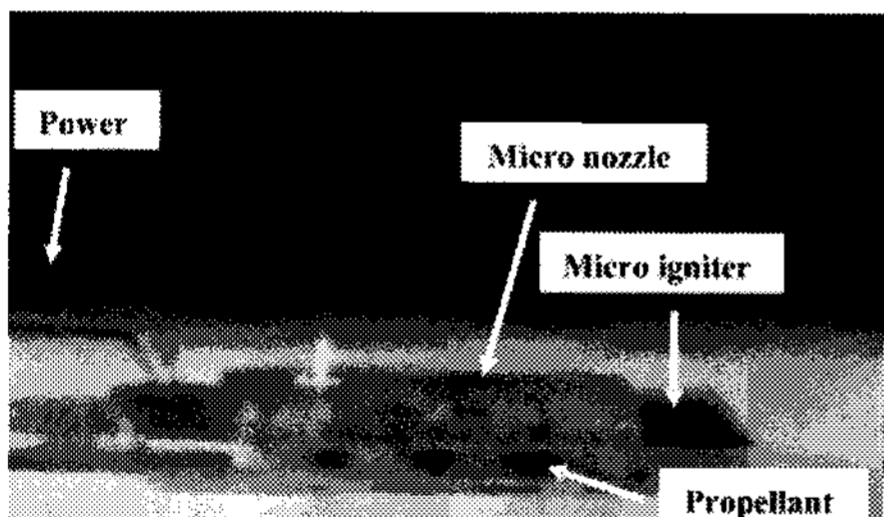


Fig. 9 Ignition test

#### 4. 마이크로 고체 추진제 추력기 요소의 통합

Figure 7과 같이 제작된 마이크로 고체 추진제 추력기의 요소들을 열 접합 방식과 UV 접합 방식을 이용하여 Fig. 8과 같이 통합하였다. 마이크로 점화기에 364 mW의 전력을 공급하여 점화 실험을 수행하였다 (Fig. 9). 실험 결과 이 연구에서 제안한 마이크로 점화기가 성공적으로 작동함을 확인 할 수 있었다.

## 5. 결 론

MEMS 공정을 통하여 마이크로 고체 추진제 추력기 요소들의 제작 공정을 확립하였으며, 통합 공정을 개발하여 마이크로 고체 추진제 추력기 개발에 성공하였다. 향후 다양한 점화제 및 추진제를 사용하여 추력기의 성능 평가를 수행 하려 한다.

## 후 기

이 연구는 방위 사업청 지정 국방 MEMS 특화 센터의 지원으로 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Lewis, D., H., Janson, S., W., Cohen, R., B., Antonson, E., K., "Digital Micro Propulsion," Proceeding of 12th IEEE MEMS, pp.517-522, 1999.
2. Rossi, C., Larangot, B., Lagrange D., Chaalane, A., "Final characterizations of MEMS-based pyrotechnical micro thrusters," Sensors and actuators A, Vol. 121, pp.508-514, 2005.
3. Zhang, K.L., Chou, S.K., Ang, S.S., Tang, X.S., "A MEMS-based solid propellant micro thruster with Au/Ti igniter," Sensors and actuators A, Vol. 122, pp.113-123, 2005.
4. Kondo, K., Tanaka, S., Habu, H., Tokudome, S., Hori, K., Saito, H., Itoh, A., Watanabe, M., Esashi, M., "Vacuum test of a micro-solid propellant rocket array thruster," IEICE, Vol. 1, No. 8, pp.222-227, 2004.
5. 이종광, 양준서, 권세진, "고체 추진제 내탄도 해석을 이용한 마이크로 펄스 추력기의 설계 및 제작 방법," KMEMS 07, pp.402-405, 2007.