

반도체브리지로부터 발생하는 마이크로 플라즈마 가시화

김종욱[†] · 박종욱* · 김선환** · 이정복**

Visualization of Micro-Scale Plasma Generated in a Semiconductor Bridge (SCB)

Jong-Uk Kim[†] · Chong-Ook Park* · Sun-Hwan Kim** · Jung-Bok Lee**

Abstract

Plasma ignition method has been applied in various fields particularly to the rocket propulsion, pyrotechnics, explosives, and to the automotive air-bag system. Ignition method for those applications should be safe and also operate reliably in hostile environments such as; electromagnetic noise, drift voltage, electrostatic background and so on. In the present study, a semiconductor bridge (SCB) plasma ignition device was fabricated and its plasma characteristics including the propagation speed of the plasma, plasma size, and plasma temperature were investigated with the aid of the visualization of micro scale plasma (i.e., $\leq 350 \mu\text{m}$), which generated from a Micro-Electro-Mechanical poly-silicon semiconductor bridge (SCB).

Key Words : SCB Plasma(반도체브리지 플라즈마) Plasma Visualization(플라즈마 가시화)

반도체브리지개발은 필연적이라 할 수 있겠다.

1. 서 론

본 연구는 전자파, 표류전압, 정전기 등 위험한 환경에서 충분한 안전성과 우수한 성능을 보이며 금속발열선(HBW)에 비해 빠른 작동시간을 가지는 반도체브리지 착화장치를 개발하여 로켓 추진기관 및 자동차 에어백(Air-Bag)에 적용하는데 그 목적이 있다. 로켓 추진기관 착화장치 및 안전장치에는 고도의 안전성 및 신뢰성이 요구되어 기존의 금속발열선 착화장치보다 전자파, 표류전압, 정전기 등 위험한 환경에서 충분한 안전성과 제품의 신뢰도를 향상시킬 수 있는 신기술 착화장치 설계사양이 요구되며 자동차 에어백용 인플레이터(inflator)는 에어백에 공급하는 가스를 발생시키기 위한 초기 구성품으로 자동차의 특성상 높은 작동신뢰성 유지와 주변환경으로부터의 안전성이 요구되어 현존하는 금속발열선형 착화장치를 대체하는 반도체브리지 착화장치 개발이 필수적인 상황이다. 또한, 반도체브리지 착화기는 고열 플라즈마를 이용한 새로운 점화방식으로 취급시 안전성 확보와 적은 에너지(대략, 수 mJ)로 빠른 점화속도와 정확도를 확보할 수 있다는 장점으로 인해 향후

2. 반도체브리지 플라즈마 생성

반도체브리지 플라즈마는 두개의 알루미늄전극 사이에 위치하고 있는 폴리실리콘으로 도핑된 마이크로칩(30 x 100 x 2 μm)에 직류 25V의 전압이 방전됨으로써 형성되는 구조를 가지고 있다. 플라즈마측정에 필요한 장비로는 Nd:YAG laser와 반도체브리지 플라즈마 착화장치, 시간간격조정장치(delay generator), 발생된 플라즈마의 형상을 획득하기 위한 CCD 카메라장치 및 이미지를 확대시키기 위한 광학계 등으로 구분되어 있다. 먼저, 격발장치의 출력 단으로부터 5V의 TTL 신호가 반도체브리지 플라즈마 착화장치에 인가되어 전기적 방전(가령, 7.8mJ)에 의해 플라즈마가 형성되며, 분출된 플라즈마는 촬영하고자 하는 시간에 맞추어진 시간간격조정장치의 격발신호에 의해 CCD 카메라가 동작되어 플라즈마의 형상을 얻게 된다. 이때, 반도체브리지의 마이크로칩에서 발생하는 플라즈마의 상이 작기 때문에 확대광학계를 사용하여 플라즈마의 상을 대략 70 배 정도 확대하였다. 발생된 플라즈마는 50 ns 에서 700 ns 까지 50 ns 간격으로 측정하였다.

[†] 한국전기연구원 플라즈마가속기그룹

E-mail: jukim@keri.re.kr

* 한국과학기술원 재료공학과

** 한화 중앙연구소

3. 실험결과 및 분석

반도체체브리지가 방전되어 50 ns 후에 측정된 전형적인 마이크로 플라즈마의 형상이 그림 1에 잘 나타나 있으며, 이때의 플라즈마의 크기는 대략 180 μm 정도인 것으로 나타났다. SCB 플라즈마는 그림 1에 표시된 바와 같이 z-방향으로 분출되며 시간이 경과함에 따라 형성된 플라즈마의 크기와 플라즈마의 광도가 증가함을 알 수 있다. 발생한 플라즈마는 그림에 나타난 바와 같이 두개의 뚜렷한 부분으로 나뉘어지는데,⁽¹⁾ 중앙의 밝은 부분은 높은 온도의 원자나 전자, 혹은 양이온으로 구성된 플라즈마이고, 주변의 상대적으로 어두운 부분(플라즈마를 둘러싸고 있는 부분(plume))은 기화된 실리콘(Si) 원자로 생각할 수 있다. 발생한 플라즈마 광도의 평균값의 시간에 따른 변화를 그림 2에 나타내었으며 곡선은 측정값에 대한 맞춤곡선을 보여주고 있다. 시간이 $0 \leq t \leq 600$ ns 인 경우에 플라즈마 광도의 평균값이 지속적으로 증가함을 알 수 있으며 600 ns 이후에는 광도가 급속히 감소하는 것을 알 수 있다. 또한, 플라즈마의 방전전압의 최대치가 이 시간대에서 측정된 플라즈마 섬광의 최대치와 매우 잘 일치하는 결과를 보였다. 이것은 발생한 플라즈마 섬광의 광도가 플라즈마를 발생시키는 방전전압의 크기에 비례함을 고려할 때 타당한 결과로 사료된다.

시간에 따른 SCB 플라즈마의 공간변화를 측정하는 것은 유체 역학적인 측면을 고려할 때 매우 중요하며, 이를 위해 본 실험에서는 두 개의 전파방향, 종방향(z) 과 횡방향(r) 에 대한 플라즈마의 전파특성을 조사하였다. 시간이 경과함에 따라 플라즈마의 크기는 두 방향에서 모두 증가하고 있으며 또한, 증가추세도 두 방향 모두 유사한 것으로 나타났다. 흥미롭게도, 플라즈마 크기의 시간적 변화는 플라즈마 섬광의 광도의 시간에 따른 변화와 매우 유사하다. 예를 들면, 시간이 $0 \leq t \leq 600$ ns 인 경우에 플라즈마도 지속적으로 팽창함을 알 수 있으며 $t=600$ ns 이후에는 그 크기가 급속히 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 플라즈마 밀도에 의한 압력이 주변공기의 압력(가령, 760Torr)에 비해 상대적으로 작기 때문에 발생하는 압력차에 의한 주변공기의 확산에 의한 플라즈마 소멸(quenching)로 해석할 수 있다.

플라즈마 팽창속도를 계산하기 위하여 시간에 따른 플라즈마의 공간위치변화를 시간의 함수로 미분 하였다. 플라즈마가 방전되는 순간(가령, $t=50$ ns)에 양방향 모두에서 플라즈마의 팽창속도가 가장 큰 값을 갖는 것으로 나타났으며 그 크기는 종방향이 대략 ≈ 1.1 km/sec, 횡방향이 ≈ 0.55 km/sec 인 것으로 나타났다. 플라즈마의 팽창속도는 시간이 경과함에 따라(예를 들면, $t \leq 200\text{ns}$) 주변 공기의 끌림(drag) 현상으로 급속히 감소하여 시간이 600 ns 일 경우에는 거의 정지되었다가 그 이후에는 반도체브리지 시편 쪽으로 후퇴함을 알 수 있다. 이러한 현상은 위에서 언급한 압력차에 의한 주변공기의 역할로 설명되어질 수 있다.

플라즈마가 발생할 때의 압력이 주위의 압력보다 크다고 간주하면⁽²⁾ 플라즈마의 팽창속도를 이용하여 플라즈마의 온도를 어림잡을 수 있다. 위에서 얻은 플라즈마의 속도(가령, 1.1km/sec)를 이용하면 이때의 플라즈마의 온도는 대략 5600 (K)로 추정된다.

4. 결 론

본 연구에서는 반도체브리지로부터 발생되는 마이크로 형태의 플라즈마를 가시화하여 플라즈마 유동장의 흐름을 관측하였다. 발생한 플라즈마는 지속시간이 대략 $\sim 2 \mu\text{s}$ 이었으며, 최대 1.1km/sec 의 속도와 5600 (K)의 온도를 가지고 대략 플라즈마가 발생된 직후 600 ns 까지 팽창하였다. 이처럼, 플라즈마의 지속시간이 짧고 상대적으로 높은 온도를 갖는 반도체브리지 착화장치는 자동차 에어백등을 동작시키기 위한 점화수단으로 사용되고있는 종래의 금속발열선 방법에 비해 빠른 점화시간과 안전성, 작은 에너지로 동작되는 큰 장점이 있다.

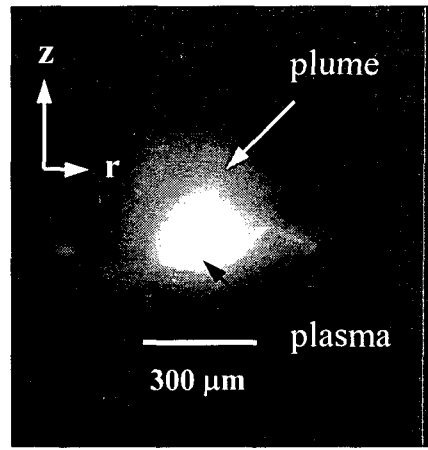


그림 1. 반도체브리지 플라즈마 ($t = 50$ ns).

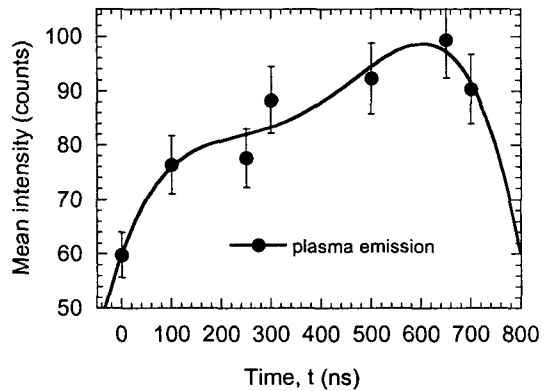


그림 2. 플라즈마 광도 평균값의 시간적변화.

참 고 문 헌

- 1) Li, P., Lim, D. and Mazumder, J., 2002, "Diagnostics of nanosecond dynamics of the plasma produced during KrF excimer laser ablation of zirconia in vacuum," J. Appl. Phys. **92**, pp. 666-671.
- 2) Clark, T. R. and Milchberg, H. M., 2002, "Time- and Space-Resolved Density Evolution of the Plasma Waveguide," Phys. Rev. Lett. **78**, pp. 2373-2376.