

# 대기압 플라즈마 발생용 마이크로 전극 제작 및 저전압 동작 특성

論 文

56-4-20

## Stable Atmospheric Plasma Generation at a Low Voltage using a Microstructure Array

金載赫<sup>†</sup> · 韓聖豪<sup>\*</sup> · 金榮珉<sup>\*\*</sup>

(Jae-Hyeok Kim · Sung-Ho Han · Young-Min Kim)

**Abstract** - A microstructure array has been proposed for micro plasma generation using electroplating and double exposed process. A stable atmospheric plasma has been generated at a low voltage by utilizing the micro electrode gap. Self-aligned microstructure can provide uniform electrode overlap with precisely controlled gap between the electrodes. The proposed structure allows for triode operation, which can expand the generated plasma over a large area by applying a lateral electric field. Electrical characteristics of the micro triode confirm the large numbers of the plasma ions are drifted to the secondary cathode by the lateral electrical field.

**Key Words** : MEMS(멤스), Electroplating(전기도금), Self-aligned(자가정렬), Discharge(방전), Plasma(플라즈마)

### 1. 서 론

반도체 및 유기소자의 세척 및 표면처리, 코팅 뿐 아니라 디스플레이의 광원 및 환경 분야에 걸쳐 다양하게 응용될 수 있는 플라즈마 기술은 플라즈마를 발생 시 요구되는 고전압 전원장비 및 장비크기로 인해 제한된 영역에서만 상용화되어왔다. 이러한 문제점을 해결하는 방법으로 MEMS 기술을 이용한 저전압 플라즈마 발생 MEMS 소자가 제안되었다[1-3]. 마이크로머신 기술을 이용한 플라즈마 MEMS 소자는 소자 간극 거리를 마이크로 단위로 감소시켜 낮은 전압에서 플라즈마를 생성시킬 수 있으며, 소자의 크기 또한 매우 작게 줄일 수 있다는 장점이 있다. 최근에 이러한 마이크로 플라즈마 소자는 광원 또는 유해가스 저감응용에 적용되기도 하였다[4]. 하지만 플라즈마가 제한된 영역에서 불안정하게 형성되거나 증착된 전극이 플라즈마 발생 중 스퍼터링으로 인해 훼손되어 동작시간이 짧아지는 단점이 지적되어 왔다. 본 연구는 앞서 문제점으로 지적된 플라즈마 발생 시 짧은 동작수명과 플라즈마 안전성을 개선하기 위하여 두 개의 음전극(cathode)이 집적화 된 마이크로 triode 구조를 제안하고 있다. 또한 이 논문에서는 제작된 소자를 가지고 대기압 하에서 플라즈마 발생 실험 결과의 I-V 특성과 마이크로 triode 방전동작 해석이 제시되었다.

### 2. 소자 제작 방법

그림 1은 소자의 제작 공정을 나타내는 공정도이다. 기판으로는 공기나 아르곤 기체 등에서 기판 표면의 전극 간에 일어날 수 있는 절연파괴를 막기 위해 높은 절연내력을 갖는 유리 기판을 사용하였다. 유리위에 씨앗층(Seed layer)으로 Ti / Cu / Ti를 1500 Å / 2500 Å / 1000 Å 두께로 열증착을 한다. 씨앗층에 도금을 위한 형틀(mold)로 AZ 9260 감광제를 회전 도포 한 후 패터닝 한다. 형성된 감광층 두께는 전극간의 거리를 결정하게 되며, 본 논문에서는 6 μm 두께를 갖는 감광제 공정을 사용하였다. 니켈을 전기도금하여 3차원 구조의 전극을 형성하게 되며, 이 때 제작되는 전극은 완성된 소자에서 양전극과 제 2 음전극(2nd cathode)으로 사용된다. 방전 시 Anode와 cathode 전극간의 단락을 방지하기 위하여 전극 간 수평 거리를 100 μm 가 되도록 하였으며, 이를 위하여 과도금(over-plating)을 하였다(d). 전기 도금된 전극을 마스크로 이용하여 2차 노광(exposure)을 수행하였는데 이 공정을 통해 자가정렬된 윗전극과 바닥전극을 얻을 수 있다(e). 2차 노광의 결과로 만들어진 형틀을 이용하여 제 1음전극(1st cathode)로 사용될 바닥전극을 도금 하였다(g). 바닥전극의 높이는 윗전극과 바닥 전극간의 거리를 결정하며 본 연구에서는 1 μm 두께를 갖는 바닥전극을 전기도금으로 형성하였다. 바닥전극을 도금 한 후 감광제를 제거하고 전극간의 Ti / Cu / Ti 층을 식각하여 소자를 완성하였다.

완성된 소자의 SEM사진은 그림 2에서 볼 수 있는데, 과도금된 윗전극의 측면 모습과 전극 간에 자가정렬이 정확하게 이루어졌음을 확인할 수 있다.

† 교신저자, 正會員 : 弘益大 大學院 電氣情報制御工學科  
碩士課程

E-mail : jaehyeokkim@gmail.com

\* 正會員 : 三星電子 半導體總括

\*\* 正會員 : 弘益大 工大 電子電氣工學部 副教授

接受日字 : 2006年 12月 8日

最終完了 : 2007年 2月 20日

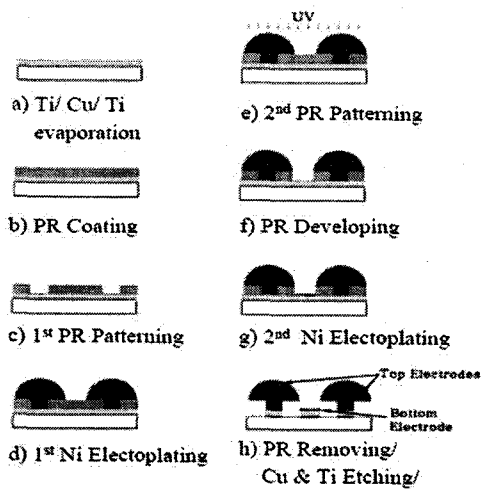
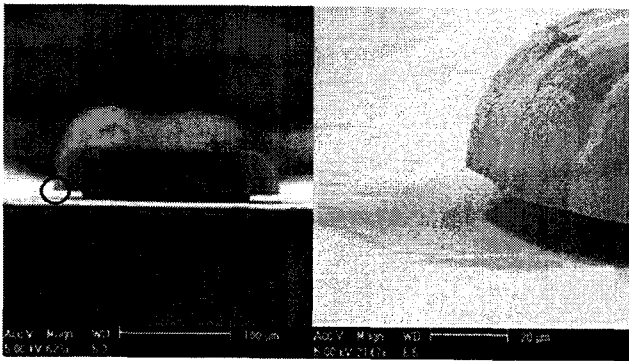


그림 1 마이크로 플라즈마 소자 제작공정도. 이중노광 공정으로 윗 전극과 바닥 전극간에 정확한 정렬을 실현할 수 있었다.

Fig. 1 Fabrication flow of proposed micro-structure. Self-aligned electrodes are successfully fabricated using double exposed patterning process.



(a) (b)

그림 2 완성된 소자의 SEM 사진. (a) 제작된 소자의 측면 사진 (b) 자가 정렬 된 5 μm 간격의 전극

Fig. 2 SEM images of a completed device. (a) side view of fabricated electrode (b) Gap between top/bottom electrodes is 5 μm

3. 플라즈마 발생 실험

플라즈마 발생 실험은 대기압 아르곤기체 환경에서 실험하였으며, 방전 실험 시 사용된 회로도도 그림 3에서 볼 수 있다. 동작 전원은 160 kHz의 펄스로 펄스의 상승시간(rising time)이 200 ns 이하가 될 수 있도록 회로를 구성하였는데 이는 안정된 글로우 방전(Glow Discharge) 발생을 위해 요구되며[3], 동작전원의 느린 상승시간은 인가된 전압

이 전극에 고루 분포되기 전에 전극의 제한된 부분에 방전이 집중되어 아크 방전으로 진행되는 문제가 관찰 되었다.

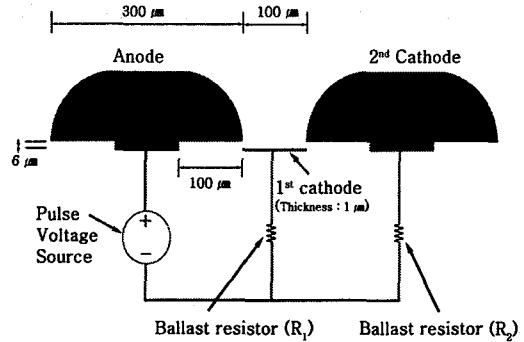


그림 3 플라즈마 발생 회로. 200 ns이하의 상승시간을 갖는 펄스전압이 사용되었음.

Fig. 3 Schematic of test setup for plasma generation. A pulsed voltage with a rise time of 200 ns is applied.

플라즈마 발생 실험 시 양전극(anode)과 제 1 음전극(1st cathode)에 흐르는 전류는 안정저항 R1(ballast resistor R1)으로 조절 할 수 있는데, 이때 R1에 걸리는 전압을 측정하여 플라즈마 발생 중 전기적 특성과 방전 전류량을 계산할 수 있다. 글로우 방전은 최대 전기장(electric field)이 유지되는 양전극과 제 1 음전극간 수직방향으로 일어나게 된다. 하지만 플라즈마 발생 중 이온화 된 아르곤 원자와 제 1 음전극간의 충돌 현상(ionic bombardment)으로 인해 제 1 음전극이 스퍼터링 되어 훼손되는 현상이 관찰되었다. 이 점을 보완하기 위해 제 2 음전극을 사용하여 플라즈마 이온층에 수평 전기장을 가하여 플라즈마 양이온을 넓은 면적에 퍼지게 하였으며, 이때 수평 전기장을 조절하기 위해서 저항 R2가 사용되었다[5].

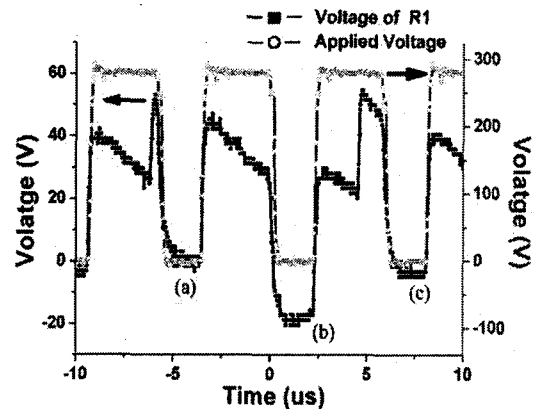


그림 4 270 V pulse 전압이 인가될 때 R1에 걸리는 전압 비교

Fig. 4 Measured voltage across R1 when a pulse voltage of 270 V is applied.

그림 4는 제 2 음전극을 사용하지 않고 양전극과 1st 음전극 간의 270 V 펄스전압을 인가하였을 때, R1에 걸리는 전압을 측정된 것이다. R1에 걸리는 전압은 두 전극간의 커패시턴스에 의해 충전이 되면서 점차 줄어들다가 전극 간 전기장에 의한 gas breakdown이 시작되면서 급격하게 증가함을 관찰 할 수 있었다. Gas breakdown 후 다시 전극 간 커패시턴스에 의해 충전된 잔류전하는 인가전압이 off인 상태에서 반대방향 방전전류로 흐르는 것을 알 수 있다(b). 인가전압이 off상태 전에 전극간의 충전된 전하량에 따라 off 상태에서 흐르는 전류의 양이 정해짐을 고찰 할 수 있었다.

제작된 소자를 가지고 플라즈마 발생 실험 시 측정된 I-V 특성 결과와 플라즈마 발생 이미지를 비교 분석해 보았다(그림 5). 그림 3과 같은 회로에서 제 2 음전극을 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 플라즈마 발생 이미지를 비교해 볼 때, 제 2 음전극을 사용 시 플라즈마 발생 영역과 방출된 빛의 세기가 증가하는 것을 알 수 있다(그림 5(b)). 이는 회로에 연결된 제 2 음전극으로 인해 플라즈마 양이온인 아르곤이온이 제 2 음전극의 방향으로 표동(drift)된 것으로 추측 할 수 있으며, 이러한 아르곤 양이온의 수평적 이동은 플라즈마 발생 중 측정된 I-V특성을 통해 확인 할 수 있었다. 그림 5(b) I-V 측정에서 알 수 있듯이 제 2 음전극으로 40 mA 전류가 방전 시 흐르며, 제 1 음전극으로 흐르는 전류도 함께 증가함을 관찰 할 수 있었는데, 이러한 결과는 제 2음전극으로 유기된 수평 전기장에 의해 플라즈마 이온이 퍼져 나감을 보여 주고 있다. 플라즈마 발생량의 변화는 방전 시 부하전력을 측정하여 유추해 볼 수 있는데, 같은 크기 펄스 전압을 인가 시 제 2 음전극을 사용하지 않을 경우 플라즈마 부하전력은 60 mW, 제 2 음전극을 사용한 경우는 부하전력이 9.4 W가 되는 것을 그림 5의 I-V 측정값으로 알 수 있었습니다. 제 2 음전극을 이용하는 triode 동작 경우 플라즈마의 부하전력 증가뿐 만 아니라 동작시간 역시 향상되는 것을 볼 수 있었다. 앞서 설명한 pulsed mode 동작 시 제 2 음전극을 사용하지 않을 경우 글로우 방전 상태에서 약 30분 정도 동작하였고 제 2 음전극을 사용하는 경우에는 480분 정도 동작 하였는데 이는 triode mode 동작 시 아르곤 양이온이 제 1 과 2 음전극으로 퍼져 나가 플라즈마 생성 시 스퍼터링에 의한 음전극 손실을 줄일 수 있기 때문이다. 제 2 음전극에 의한 소자내의 전기장 분포 변화를 확인하기 위해 FEMM 시뮬레이션[6]을 이용하여 전기장 분포를 계산해 보았다. 플라즈마 상태의 전기장 시뮬레이션은 매우 복잡하고 시간 소요가 많은 것으로 알려져 있어 이 논문에서는 플라즈마 이온에 의한 전자장 변화를 고려하지 않고 단지 플라즈마 발생 실험 중 각 전극에서 측정된 전압을 바탕으로 전기장을 시뮬레이션 해 보았다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 제 2 음전극을 사용한 경우, 제 2 음전극을 사용하지 않았을 경우에 비해 수평적 전기장이 매우 증가 하는 것을 확인 할 수 있었다.

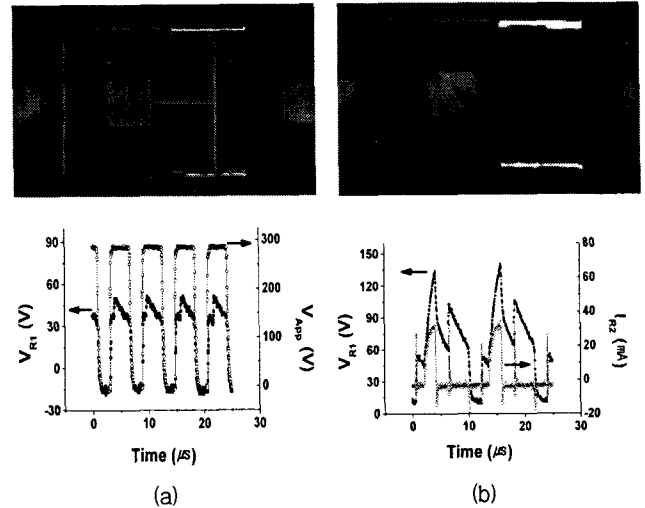


그림 5 대기압 Ar 가스 방전 실험 중 소자의 플라즈마 형성 사진 과 I-V 특성.

(a) 두 개의 전극만 사용한 경우 (b) 세 개의 전극을 사용한 경우

Fig. 5 Plasma generation in Argon gas ambient at atmospheric pressure and I-V characteristics.

(a) floating 2nd cathode (b) employing triode operation

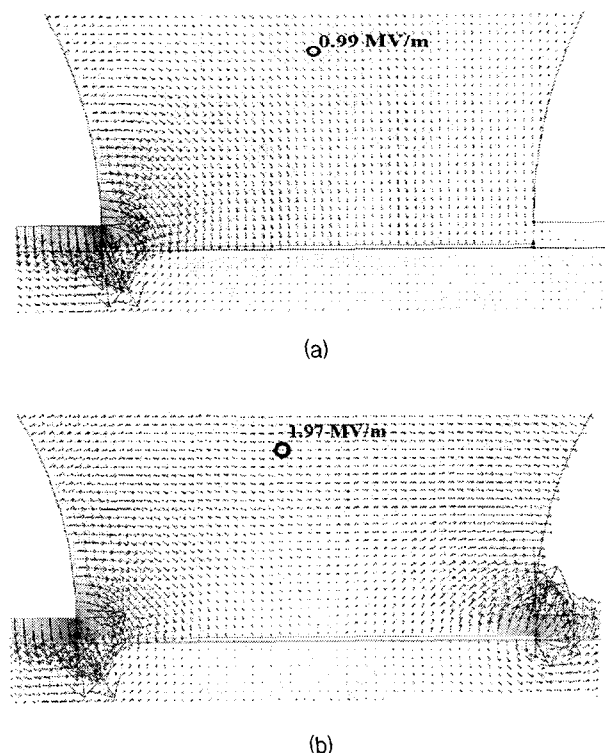


그림 6 실험 결과를 이용한 FEMM 전기장 시뮬레이션

(a) 두 개의 전극만 사용한 경우 (b) 세 개의 전극 사용한 경우

Fig. 6 Simulated electric field during gas breakdown using FEMM (a) Floating 2nd Cathode (b) 2nd Cathode connected as shown in Fig 5.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 전기도금을 이용한 자가 정렬 공정과 이중노광(double exposure)을 이용하여 3 개 전극 구조를 갖는 마이크로 플라즈마 소자 제작방법이 제안되었다. 집적화된 두개의 음전극을 사용함으로써 대기압에서 생성된 플라즈마 이온을 수평 방향으로 효과적으로 확대시킬 수 있었으며, MEMS 기술을 이용한 array구조 제작 시 저전압에서 고밀도의 대기압 플라즈마를 생성시킬 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 마이크로 플라즈마 소자는 이동성이 뛰어난 저전압 동작 플라즈마 생성원으로 유해가스 저감장치 및 센서 등 다양한 분야에 응용이 가능할 것이다.

#### 감사의 글

이 연구에 참여한 연구자는 2단계 BK21 사업의 지원비를 받았습니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] L. Baars-Hibbe, et al, "Micro-structured electrode arrays : atmospheric pressure plasma processes and applications", Surface and Coatings technology, 174-175, 419-423, 2003
- [2] Ralf G. Longwitz, et al, "Study of Micro glow discharges as Ion Sources", 29th EPS Conference on plasma phys. and Contr. Fusion Montreux, ECA, 26B, P-2.026, 2002
- [3] 김주환, 문형식, 김영민, "미소간극을 갖는 MEMS 방전 소자 제작 및 특성 연구", 2004년 대한전기학회 전기물성·응용부문회 추계학술대회 논문집 P46-48, 2004
- [4] K H Becker, K H Schoenbach and J G Eden, "Microplasmas and applications", J. Phys. D: Appl. Phys. 39, R55 - R70, 2006
- [5] H. Park, T. Lee, K. Park, H.Baik, S. Lee and K. Song, "Formation of large-volume, high-pressure plasmas in microhollow cathode discharge", Appl. Phys. Lett., Vol. 82, No. 19, May 2003
- [6] D. C. Meeker, Finite Element Method Magnetics, Version 4.0.1 (03Dec2006 Build)

#### 저 자 소 개



#### 김재혁 (金載赫)

1979년 6월 23일생.  
2006년 홍익대 전자전기공학부 졸업.  
2006년~현재 홍익대 대학원 전기정보제어공학과 석사과정  
Tel : 02-320-1488  
E-mail : jaehyoekkim@gmail.com



#### 한성호 (韓聖豪)

1978년 8월 19일생.  
2004년 홍익대 전자전기공학부 졸업.  
2006년 홍익대대학원 전기정보제어공학과 석사과정  
2006년~현재 삼성전자 반도체총괄 메모리사업부 반도체연구소  
Tel : 02-320-1488  
E-mail : han819@korea.com



#### 김영민 (金榮珉)

1964년 8월 16일생.  
1987년 서울대 전기공학과 졸업.  
1995년 University of Texas at Austin 대학원 Electrical & Computer Engineering과 졸업(공학).  
2002년 Texas Instruments Inc. Senior Member of technical staff  
2002년~현재 홍익대 전자전기공학부 부교수  
Tel : 02-320-1488  
E-mail : ymkim@hongik.ac.kr