

## 마이크로플라즈마 어레이

박 성진\*, 김 용상\*, 최 용호\*, 조 진훈\*\*, 이 규왕\*\*

아주대학교 공간연구소 명지대학교 전기제어계측공학부\* 명지대학교 화학과\*\*

### Microplasma Arrays : Parallel Operation and Power Driving

Sung-Jin Park\*, Yong Sang Kim, Yong Ho Choi, Jin Hoon Cho, Kyu-Wang Lee  
Ajou University\*, Myongji University

**Abstract** - 50~100 micron의 지름을 가지는 면광 원용 마이크로 할로우캐소드형태의 플라즈마용 어레이가 2인치 미만의 크기로 제작, 분석되었다. 본 연구에서 제작된 소자들은 금속-절연층-금속의 다층구조로 100 micron 미만의 소자두께를 가지며 300~1200 Torr의 Neon, Xenon 및 여러 기체 mixture에서 안정되게 구동되었고 구동전압은 100~150V 범위로 관찰되었다. 이 밖에도 대면적 어레이내 소자간 병렬구동을 위한 다양한 구조의 소자들이 제작되었으며, 이들의 방전 및 발광특성, 그리고 전기적 특성이 분석되었다.

#### 1. 서 론

수십~수백 마이크로미터 크기의 소형 플라즈마를 형성시키는 마이크로 플라즈마 기술은 소형화, 정밀화, 고 효율화를 지향하는 첨단산업분야에 적합한 기술로서 디스플레이, 램프, 전자, 환경, 의료등 다방면에서의 응용이 타진되고 있다. 최근 수년간 다양한 구조 및 형태의 마이크로 플라즈마 소자 및 어레이들에 대한 연구가 보고된바 있으며, 특히 마이크로할로우캐소드의 구조를 가지는 소자의 경우, 상압, 저온방전특성, 대면적하에서의 소자간 병렬구동의 가능성이 입증되었다.[1-5] 그러나 마이크로 플라즈마는 소자의 구조나 재료등에 의해 그 구동특성이 크게 영향을 받고, 어레이 구성 소자들의 수나 크기에 의해서도 구동압력 및 전기적 특성이 변한다. 따라서 대면적 플라즈마 어레이를 제작, 효율적으로 구동시키기 위해서는 소자의 기본구조 및 재료, 소자간 간격 그리고 그 전원구동방식이 최적화되어야 한다.

본 연구에서는 대면적 플라즈마 면광원 제작을 위한, 어레이 기본소자들의 구조와 특성이 분석되었으며, 이를 통해 대면적 어레이의 병렬구동을 위한 최적의 조건 및 소자 제작공정을 확립하고자 하였다. 특히 본 연구에서는 또한 어레이의 수명 및 저전력 소모를 위한 펄스화 DC 구동방식 및 그 전원회로가 연구되었으며 소자수명 및 소비전력의 개선방안이 논의될 것이다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 Fabrication

본 연구에서 이용된 소자의 기본구조는 금속/절연층/금속의 다층막 구조를 가지며, 이용된 재료와 제작공정에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 그 제작공정은 다음과 같다.

##### 2.1.1 금속-고분자 방전소자

절연체로 고분자(polyimide)가 이용되는 방전소자로 25~50 micron의 두께를 가지는 금속판에 고분자가 용액상태로 코팅된 후 curing과 열처리를 통한 용매제

거 과정을 거친다.(두께: 4~10 microns). 마지막으로 음극을 형성하기위해 이들 위에 금속층이 증착또는 코팅된다.(두께: 0.2~2 microns). 여기에 할로우캐소드 구조를 형성하기 위하여, micromachining이나 laser drilling을 이용하여 실린더형태의 홀을 만들었다(50~200 microns diameter). 이렇게 제작된 마이크로방전 소자는 최소 ~30 micron의 두께까지 가능하며, 고분자의 특성상 flexibility도 나타낸다.

##### 2.1.2 금속-anodized alumina 방전소자

플라즈마등의 조건에서 안정성이 우수한 세라믹재료를 절연체로 이용하기 위해 본연구에서는 두께조절 및 공정수를 단축시킬 수 있는 전기화학적 anodization 공정을 채택하였다.(6) 제작공정은 25~200 micron의 두께를 가지는 알루미늄 foil에 원하는 형태로 마스크한 후, electropolishing으로 기존의 알루미늄이나 막을 제거한다. 그 후, 산용액(Oxalic acid)하에서의 anodization(DC ~40V)을 진행시켜 self-organized 다공성 알루미늄이나 막을 알루미늄위에 형성시켜서 금속-알루미늄의 소자구조를 형성시켰다. 그후, 니켈을 electroplating이나 증착과정을 거쳐 금속-절연체-금속 막구조를 얻고, 앞의 공정과 마찬가지로 micromachining을 통해 마이크로 할로우캐소드를 형성하였다. 특히 각 소자의 두께 및 물성은 anodization조건 및 시간에 크게 의존하므로 그 특성조절이 매우 유리하다.

##### 2.2 소자 구동특성

제작된 마이크로방전소자들은 200~1000 Torr의 압력대에서 안정적으로 구동되었으며, 금속-고분자-금속방전소자의 경우, 90~140V대의 방전전압영역을 나타낸다. 특히 높은 압력일수록 방전전압이 감소하는 경향을 나타낸다. Fig.1에 150 micron 직경의 microhollow cathode를 가지는 금속-고분자소자의 구동중 전기적 특성을 나타내었다. 50 Torr정도의 낮은 압력대에서는 소자의 구동전압 및 전류가 다른 압력들에 비해 높은데, 이것은 소자가 glow방전보다는 arc 모드에 가깝게 구동되기 때문이며 이에 따라 이 압력대에서 구동시 소자의 수명이 크게 감소된다. 이 소자의 경우 400~600 Torr의 압력대에서 방전의 안정성 및 발광특성이 우수한 것으로 관찰되었다. 발광특성 및 플라즈마내 이온화효율을 분석하기 위해 50 micron 직경의 할로우캐소드를 가지는 금속-고분자 마이크로방전소자의 스펙트럼을 측정하였으며 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 특히, glow 방전을 나타내는 펜램프(Oriel Neon Pen Lamp)와 비교시, 마이크로방전소자의 경우, 펜램프에서는 관찰되지 않는 피크들이 330~340 nm 부근에서 다수 나타난다는 것을 알 수 있는데, 이것은 기존의 glow 방전에서

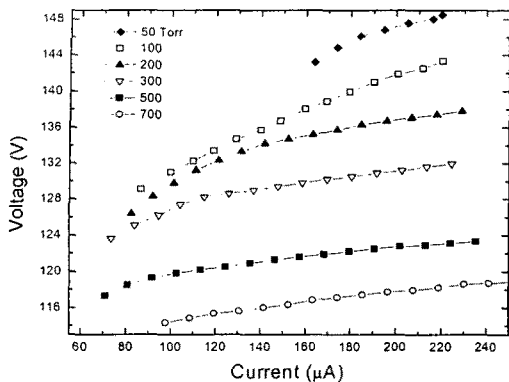


Fig. 1. I-V characteristics of 150 micron dia. microdischarge device operating in Neon

여기서 볼 수 있는 에너지준위들보다 30 eV 이상 높은 에너지 영역인  $Ne^+$  이온의 준위들에 기인된 피크들로서 마이크로 할로우캐소드 방전효과에 의한 높은 이온화율을 의미하는 것이다.

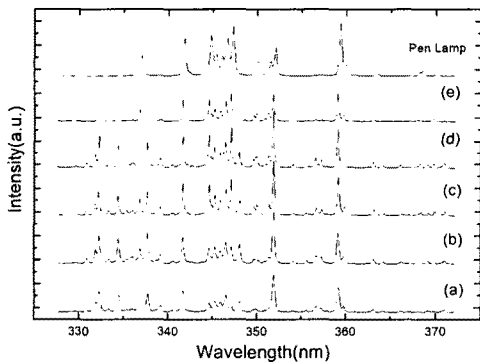


Fig.2 Plasma emission spectra of 50 micron diameter micro hollowcathode discharge devices in Neon: (a) 100 Torr (b) 200 Torr (c) 300 Torr (d) 500 Torr (e) 700 Torr

또한  $Ne^+$  준위들에 기인된 피크들이 700 Torr의 상압에서도 관찰되므로 상압에서도 높은 방전효율이 나타날 수 있다. 한편 장시간 플라즈마 조건 하에서의 연속구동에 따라 발생하는 다층막 구조의 피로현상은 소자 수명 및 발광휘도와 직결되는 것으로, 전극 및 절연층 재질의 선택이 매우 중요하다. 본 연구에서 이용된 폴리이미드 기층 절연층이 매우 우수한 전기절연 특성 및 다른 고분자들에 비해 높은 내열, 내화학성을 가지고 있으므로 그 응용에 따라 매우 중요한 소자 재료로 이용될 수 있다. Fig.3은 DC하에서 25시간 구동후의 마이크로 할로우캐소드 방전소자를 나타낸 것으로 구동 전과 비교해 플라즈마에 의한 에칭 및 소자의 손상이 크게 관찰되

지 않는 것을 볼 수 있다. 한편 소자수명의 경우, 금속-고분자 소자의 경우, DC조건에서 200~300시간의 halflifetime을 가지며, 세라믹 소자인 알루미늄/알루미늄/니켈 소자의 경우 역시 이와 유사한 경향을 나타내어 금속-세라믹구조로 부터 예상되는 것보다 실제 안정성이 약한 것으로 나타났다. 그것은 음극물질로 이용된 알루미늄이 플라즈마 조건 하에서 비교적 쉽게 손상되기 때문인 것으로 보인다. 이러한 원인으로 구동 중 에칭이 진행되어 전기적 특성이 불안정하고, 구동전압 역시 금

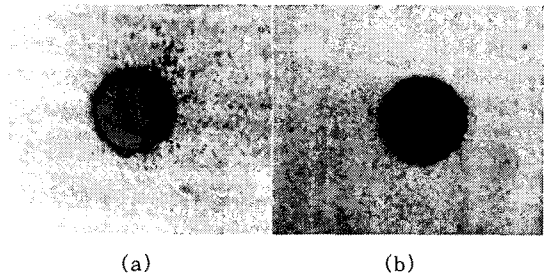


Fig. 3. The Microscope Image of 150micron dia. microdischarge Device: (a) before (b) after 25 hours of continuous operation in DC.

속-고분자 소자보다 20~30V 높게 나타난다. 따라서 음극물질의 대체 및 보호코팅 등으로 소자수명이 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다. 또한 전원방식의 변화에 의해서도 소자수명이 향상될 수 있을 것으로 기대된다. 특히 펄스화 DC의 경우 300 Hz 이상의 DC 펄스 (20~100 µS 펄스폭)로 구동시, 소자전류가 3~4배 이하로 감소되고, 소자전압 역시 10~20% 감소하여 소자 수명의 증대 및 소비전력의 절감에 중요한 인자임을 알 수 있다.

마이크로 플라즈마 소자들을 대면적 어레이로 형성하기 위해서는 어레이소자들의 병렬구동이 요구되며 이를 위해 많은 연구들이 진행되어 왔다.[7-8] 특히 대면적 어레이를 구현하기 위해선 소자간 간격이 증가해야 한다. Fig. 4는 (5cm)<sup>2</sup>의 면적에 100 micron의 직경을 가지는 독립 마이크로 방전소자 16개로 어레이를 형성한 것으로 각 소자에 전원이 개별적으로 공급되고 있는 것이다. 특히 마이크로 할로우캐소드의 직경(100 µm)에 비해 소자간 간격이 넓으므로 (~1.2cm), 소자로부터

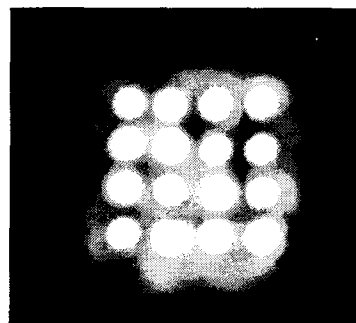


Fig.4 Photograph of 4×4 arrays operating in Neon 500 Torr (148.2 V, 15.0 mA)

의 발광세기를 최대화(구동전류를 최대로)하여 조광 면적을 보상하고자 하였다. 이 어레이의 수명은 각 소자가 독립전원으로 구동되므로, 단일소자의 수명을 그대로 따르며, 방전부피가 전체부피에 비해 극히 작은 관계로 열의 발생도 거의 없는 것이 특징이다. 한편 면적당 평균 일도를 높이기 위해서는 단위 면적당 소자의 수를 증가시키면서도 소비전력이 최소화해야 하므로 이를 위한 효율적인 구동방식으로 개선되어야 하며, 최적의 구동조건으로 프로그램화된 펄스화 DC 및 AC 전원으로 역시 개발되어야 하므로 이에 대한 연구가 진행되고 있다.

### 3. 결 론

마이크로 할로우캐소드 소자가 금속/절연층/금속의 구조로 제작되었으며 이 할로우 캐소드의 지름이 100 micron이하로 감소할수록 상압에서 안정하게 구동되었다. 소자의 수명 및 구동조건을 개선하기 위하여, 다양한 재료로 소자가 제작되었으며, 이용된 전극물질에 소자의 수명이 주로 결정되었다. 펄스화 DC의 이용으로 소비전압 및 전류가 크게 개선되었으며 이의 최적화를 위한 연구가 진행중이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] S.-J. Park, et.al. "Performance of Microdischarge Devices and Arrays with Screen Electrodes" IEEE Photonics Tech. Lett., 13(1), 61, 2001
- [2] S.-J. Park, J. Chen, C. Liu and J.G. Eden, "Silicon Microdischarge Devices Having Inverted Pyramidal Cathodes: Fabrication and Performance of Arrays" Appl. Phys. Lett., 78(4), 419, 2001.
- [3] B.A.Vojak, S.-J. Park, C.J. Wagner, J.G. Eden et.al. "Multi-Stage, Monolithic Ceramic Microdischarge Device Having An Active Length of ~220 microns" Appl. Phys. Lett., 78(10), 1340, 2001.
- [4] K.H. Scoenbach, R. Verhappen, et.al. Appl. Phys. Lett. 68, 13, 1996
- [5] A. El-Habachi, K.H.Schoenbach, Appl. Phys. Lett. 72, 22, 1998
- [6] O. Jessensky, F. Muller, U Gosele, "Self-Organized formation of hexagonal pore arrays in anodic alumina" Appl. Phys. Lett., 72(10), 1173, 1998.
- [7] S.-J. Park, J. Chen, C. Liu, J.G. Eden, "Microcavity Plasma Discharge Arrays For Display Applications," SID 01 DIGEST, 775-777, 2001.
- [8] S.-J. Park, J. Chen, C. Liu and J.G. Eden, "Independently Addressable Sub-arrays of Silicon Microdischarge Devices: Electrical Characteristics of Large(30 × 30) Arrays and Excitation of a Phosphor" Appl. Phys. Lett., 79 (13), 2100, 2001