

**유연한 구조의 중공음극방전 소자의 제작**

황정수<sup>1</sup>, 김근영<sup>1</sup>, 양상식<sup>1</sup>, 오수기<sup>2</sup>

<sup>1</sup>아주대학교 전자공학부, <sup>2</sup>아주대학교 자연과학부

**Fabrication of a flexible hollow cathode discharge device**

Jeang Su Hwang<sup>1</sup>, Geun Young Kim<sup>1</sup>, Sang Sik Yang<sup>1</sup> and Soo-ghee Oh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Division of Electronics Engineering, Ajou University, <sup>2</sup>Division of Natural Sciences, Ajou University

**Abstract**

본 논문은 유연한 영상표시 장치에 응용될 수 있는 중공음극방전 소자(hollow cathode discharge device)를 마이크로머시닝기술로 제작하고 시험한 결과를 보여준다. 중공음극방전은 평판음극방전에 비해서 전류밀도가 큰 장점이 있다. 방전 소자는 유연한 구조의 양극과 음극, 그리고 그 사이의 절연층으로 구성되어 있으며 소자의 크기는 20 mm × 10 mm이다. 방전이 일어나는 영역은 관통 구멍으로서 7×11 개가 배열되어 있고, 구멍의 직경은 70 μm이다. 실리콘 기판 위에 SU-8 몰드를 형성한 후 니켈 전기도금으로 음극을 제작한다. 그 위에 폴리이미드를 스펀코팅하여 절연층을 이루고, 열충착으로 알루미늄 양극을 제작한 후, 실리콘과 SU-8을 제거하여 방전 소자를 완성한다. 진공챔버 내 아르곤 가스 분위기에서 소자의 두 전극 간 전압을 변화시켜 가면서 전류-전압 특성을 측정하였고, 방전상태를 관찰하였다. 챔버 내의 절대압력이 260 mmHg이고 인가전압이 230 V 정도일 때 안정된 방전이 관찰되었다.

**1. 서 론**

중공음극효과는 1916년에 파센에 의해 발견되어 분광기의 광원으로 활용하기 위해 연구되었다[1]. 중공음극방전의 전류밀도가 평판음극 방전의 전류밀도보다 높아 중공음극방전 소자가 더 밝은 빛을 발하는 장점을 갖고 있다[2]. 이러한 장점을 이용해 중공음극방전이 가능하도록 전극을 만들고 높은 방전 효율을 갖는 램프를 제작하여 광원으로 사용하기도 한다. 중공음극의 전류밀도가 높은 이유는 음극강화영역에서 전자들의 진동운동으로 이온화 정도가 급격히 증가하기 때문이다[3]. 중공음극방전은 방전 상태에서 전류가 증가할 때 전압은 감소하는 특성을 갖고 있다[4].

이러한 중공음극효과의 장점을 활용하여 실리콘으로 제작된 중공음극방전 소자가 연구되었다[2, 5]. 그러나 기판인 실리콘의 특성상 단단한 구조로 소자가 제작되었기. 일부 유연한 재료를 이용하여 제작된 소자가 있지만 방전이 발생하는 홀이 기계적 가공으로 제작되었기에 비교적 큰 크기로 만들어졌다[6].

본 논문에서는 두 전극 사이의 간격을 줄여서 비교적 높은 압력에서도 방전이 가능하게 하고, 밝은 빛을 얻기 위하여 중공음극방전 구멍의 크기를 줄여서 집적도를 높일 수 있게 하였으며, 유연한 디스플레이 장치에 이용할 수 있도록 마이크로머시닝기술로 얇게 제작하여 방전 특성을 시험하였다.

**2. 본 론**

**2.1 원리 및 구조**

방전 현상은 파센에 의해 발견되고 이론적 개념이 정리되었다. Pachen's law 라는 방전식을 정의했고 이 식은 일반적인 방전현상을 해석하는데 이용된다. 방전식에서 상수항을 제외한 식은 다음과 같다.

$$V_s = f(pd) \tag{1}$$

방전 전압,  $V_s$ 는 식(1) 과 같이 압력,  $p$ 와 전극 간격,  $d$ 의 관계 함수로 결정된다.

본 논문에서 다루는 유연한 구조의 중공음극방전 소자는 그림 1과 같이 중공음극, 절연층, 양극 등의 3층으로 구성되어 있고, 양극과 음극, 절연층을 관통하는 구멍이 있다. 전압을 두 전극에 인가하면, 전극의 경계면에서 방전이 발생하고 중공음극 영역에서 전류 밀도가 증가될 수 있는 구조이다. 관통 구멍은 그림 1과 같이 7×11 개가 배열되어 있고, 구멍의 직경은 70 μm이다. 양극과 음극은 각각 금속이며, 중간의 절연층은 고전압으로 인한 절연 파괴를 방지하기 위해 절연특성이 우수한 폴리이미드로 이루어진다. 소자의 크기는 20 mm × 10 mm × 0.05 mm 이다.

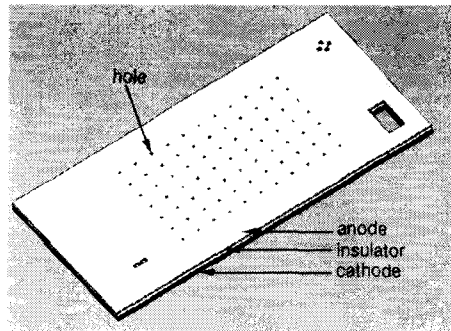


그림 1. 유연한 구조의 중공음극방전 소자

**2.2 방전 소자의 제작**

그림 2 는 유연한 중공음극방전 소자의 제작 공정을 나타내는 공정도이다. 산화막이 성장된 실리콘 웨이퍼 위에 니켈을 전기도금하기 위해 씨앗층으로 Cr/Au 를 500 Å/2000 Å 두께로 열충착시킨다. 니켈도금의 주형으로 음성 감광제 SU-8을 스펀 코팅 후, 패턴을 형성한다. 제작과정에서 감광제의 코팅두께로 중공음극 층의 두께를 결정할 수 있다. SU-8의 주형이 제작된 후 실 파인산 니켈용액 속에서 2 mA/cm<sup>2</sup> 전류밀도로 20 시간 동안 도금하여 니켈 층을 20 μm 두께로 형성한다. CMP 공정으로 표면을 균일하게 가공한 후 절연층으로

사용될 폴리이미드를 스프인 코팅하고 열판에서 경화시킨다. 이때 절연층의 두께는 회전속도에 따라 결정되는데 본 공정에서는 20  $\mu\text{m}$ 의 두께로 제작하였다. 절연층의 두께는 방전개시 전압에 영향을 미치는 요소이다. 경화시킨 폴리이미드층 위에 알루미늄을 열증착한다. 7  $\mu\text{m}$  두께의 알루미늄 층에 패턴을 형성하고 패턴사이로 드러난 폴리이미드를 건식방법으로 식각하여 구멍을 제작한다. 마지막으로 기판으로 사용된 실리콘과 SU-8 몰드를 제거하여 유연한 증공음극방전 소자를 제작한다. 그림 3은 제작된 소자의 사진이고, 그림 4는 제작된 소자를 구성하고 있는 단면의 SEM 사진이다.

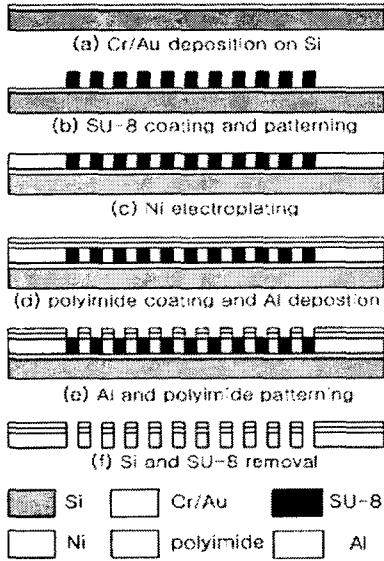


그림 2. 제작 공정도

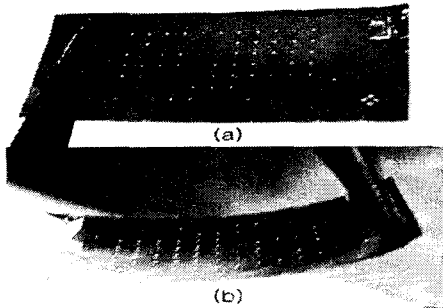


그림 3. 제작된 소자의 사진  
(a) 평편한 상태 (b) 휘어진 상태

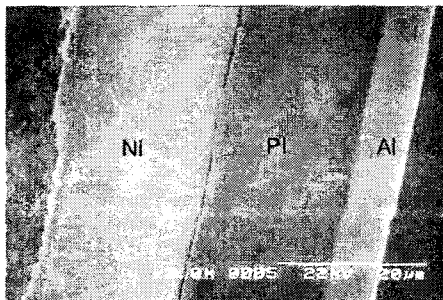


그림 4. 제작된 소자의 SEM 사진

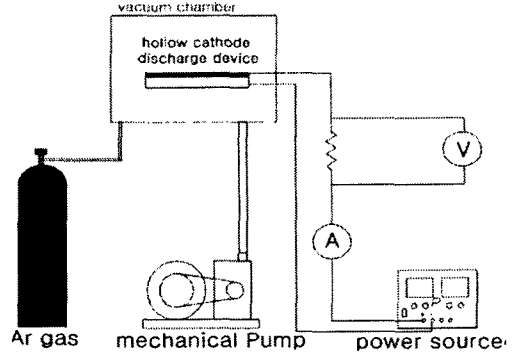


그림 5. 방전 실험 장치도

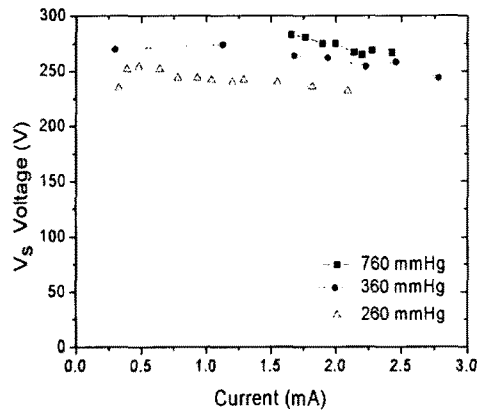


그림 6. 방전 소자의 전류-전압 특성

### 2.3 실험 및 결과

방전 실험 장치의 모식도는 그림 5와 같다. 방전실험에서 전류는 전류계를 이용하여 측정하였고, 200 k $\Omega$ 의 Ballast 저항을 소자와 직렬로 연결하여 저항에 걸리는 전압을 전압계로 측정하고 소자에 걸리는 전압은 계산으로 얻었다. 방전 실험은 상온에서 아르곤 가스의 압력을 일정하게 유지하면서 전원의 전압을 점진적으로 증가시키며 방전 현상을 관찰하였다. 방전이 일어나기 시작한 후 전원의 전압을 더 증가시키면 전류는 증가하고 방전소자에 걸리는 전압은 조금씩 낮아진다. 방전 실험시 측정된 소자의 전류-전압 특성 곡선을 그림 6에 나타냈다. 그림 6에서 압력은 절대압력을 나타내며 760 mmHg일 때는 챔버를 사용하지 않고 대기 중에 아르곤 가스 소자 주위에 흘려주며 시험한 결과이고 그 외의 두 경우는 진공챔버 내에서 시험한 결과이다.

대기압의 아르곤 가스 분위기에서 전원의 전압을 서서히 증가시키면, 전원의 전압이 400 ~ 615 V 일 때 불안정한 방전현상이 나타났다. 안정된 방전이 관찰되기 시작하는 방전개시전압은 615 V이다. 이 때, 소자에 걸리는 전압은 283 V이다. 불안정한 방전이 계속되면 전극이 손상됨을 관찰하였다.

진공 중에서 방전시험을 하기 위하여 챔버 내의 공기를 뽑아내고 아르곤 가스를 주입하는 과정을 몇 차례 반복하여 챔버 내에 아르곤만 존재하게 하였다. 아르곤 가스 압력이 360 mmHg 일 때 불안정한 방전은 310 V에서 330 V 사이에서 잠시 나타났고, 안정된 방전의 개시전압은 330 V로 대기압 하에서 측정된 값에 비해 현저히 낮았다. 전원전압이 330 V일 때 소자에 걸리는 전압은 270 V이다.

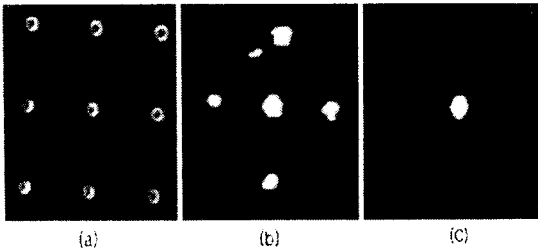


그림 7. 소자의 실험 사진

(a) 무방전 (b) 불안정 방전, (c) 안정한 방전

아르곤 가스 압력이 260 mmHg일 때에는 안정된 방전의 개시전압은 300 V이고, 소자에 걸리는 전압은 235 V이다. 이 경우 불안정한 방전 현상은 거의 나타나지 않았다. 챔버 내에서 실험한 결과는 작은 전류 값에서부터 안정된 방전이 시작되었고 전원의 전압을 증가시키면 전류도 점차 증가하고 방전 시 발생하는 빛도 밝아졌다. 3 mA 이상의 전류가 흐르면 소자가 파괴되는 것을 관찰하였다.

그림 7은 제작된 방전 소자의 방전 현상을 촬영한 사진이다. (a)는 실내조명을 켜고 썩은 무방전 상태의 소자 사진이고, (b)는 조명을 끈 상태로 대기압의 아르곤 가스 분위기에서 불안정한 방전이 일어나는 소자의 사진이다. 그림 (c)는 챔버 내에서 안정된 방전과 밝은 빛을 발하는 모습을 보여주고 있다. 실험 시 몇몇 구멍에서 방전 현상이 관찰되지 않는 것은 제작 시 홀의 구조적 균일성이 확보되지 않았기 때문이라고 생각된다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 마이크로머시닝기술을 이용하여 간단한 구조의 유연한 중공음극방전 소자를 제작했다. 3층으로 구성된 소자는 알루미늄과 폴리이미드, 니켈 층으로 제작되었다. 방전영역은 직경 70  $\mu\text{m}$ 의 관통 구멍 형태이고, 소자의 두께는 0.05 mm로 초소형의 유연한 중공음극 구조를 하고 있다. 일정한 전극 간격에서 보다 낮은 방전 개시 전압을 관찰하기 위해 아르곤 가스 압력을 변화시키고 전압을 점진적으로 증가시키면서 실험하였다. 아르곤 압력이 260 mmHg일 때 방전 개시 전압이 230 V이고 안정적인 방전을 관찰할 수 있었다. 전압원의 전압을 증가시키면 전류가 증가하고, 방전 시 발생하는 빛도 육안으로 확인 가능할 정도로 밝아졌다. 전류가 증가하면 소자에 걸리는 전압은 조금씩 낮아지는 것을 확인하였다.

이 실험결과로부터 비교적 높은 압력에서 작동하는 유연한 중공 음극 방전 소자를 이용한 디스플레이나 광원의 제작이 가능함을 확인하였다. 추후, 소자를 균일하게 제작하고 방전 현상이 발생하는 구멍의 크기와 절연층의 두께를 줄임으로써 보다 낮은 작동전압으로 밝은 빛을 얻고 신뢰성 있는 소자를 제작할 계획이다.

### [참 고 문 헌]

- [1] F. Pachen, Ann. "Ilohlkathoden-Effekt", Physik, Vol.50, p.901, 1916.
- [2] J. Chen, S. J. Park, Z. Fan, J. G. Eden and C. Liu, "Development and Characterization of Micromachined Hollow Cathode Plasma Display Devices", Journal of Microelectromechanical Systems, Vol. 11, pp. 536-543, 2002.
- [3] K. H. Schoenbach, T. Tessnow and F. E. Peterkin, "Microhollow cathode discharges", Applied Physics Letters, Vol. 68, pp. 13-15, 1996.
- [4] K. H. Schoenbach, A. El-Habachi, "High-pressure hollow

cathode discharges", Plasma Sources Sci. Technol. 6, 468-477, 1997.

[5] J. W. Frame, D. J. Wheeler, T. A. DeTemple and J. G. Eden, "Microdischarge devices fabricated in silicon", Applied Physics Letters, Vol. 71, pp. 1165-1167, 1997.

[6] S. J. Park, C. J. Wagner, C. M. Herring and J. G. Eden, "Flexible microdischarge arrays: Metal/polymer devices", Applied Physics Letters, Vol. 77, pp. 199-201, 2000.