

평판형 디스플레이 적용을 위한 내장형 Multiple U-Type 안테나를 이용한 유도결합형 플라즈마에 관한 연구

임종혁* · 김경남 · 염근영

성균관대학교 신소재공학과, 수원 440-746

(2006년 1월 13일 받음)

본 연구에서는 대면적 플라즈마 공정에 적용 가능한 고밀도 플라즈마를 발생시키기 위하여 기존의 내장형 serpentine-type 안테나와 새롭게 고안된 내장형 유도결합형 multiple U-Type 안테나를 1020mm X 920mm(기관 880 X 660mm)의 챔버에서 연구하였다. 내장형 유도결합형 multiple U-type을 적용한 플라즈마는 serpentine-type과 비교하여 더 높은 플라즈마 밀도, 높은 radical 밀도, 좋은 균일도를 관찰할 수 있었다. 이는 serpentine-type의 경우와 비교하여 보다 적은 정상파 효과와 높은 유도결합에 기인한다. 내장형 유도결합형 multiple U-type 안테나의 적용으로 $2 \times 10^{11}/\text{cm}^3$ 의 높은 플라즈마 밀도를 얻을 수 있었고 5000W의 입력전압과 Ar 가스 15mTorr 공정압력조건에서 4%의 균일도를 관찰할 수 있었다.

주제어 : 평판형 디스플레이, 안테나, 유도결합형 플라즈마

I. 서 론

TFT-LCD 등의 식각공정에서 플라즈마 건식식각은 기존의 습식식각에 비하여 마스크 패턴(lithography pattern)의 정확한 수직식각이 가능할 뿐만 아니라, 적은 양의 가스만을 이용하므로 비용이 적게 들며 환경오염의 가능성도 용액에 비해 작다. 또한 습식에 비해 청결하며 공정자동화에도 쉽게 응용이 가능하다. 현재 TFT-LCD 건식식각공정에서는 축전결합 플라즈마 소오스를 적용하고 있지만 TFT-LCD 제조공정의 더 나은 생산성을 위해 고밀도 플라즈마 소오스의 필요성이 대두되고 있다.

TFT-LCD 처리공정에 있어서, 낮은 가스 압력에서 균일하고 높은 밀도의 플라즈마를 얻는 것이 중요한데[1-3], 대면적 평판디스플레이 적용시에 고밀도의 플라즈마 발생이 어렵다. 대면적에서 균일한 플라즈마를 적용하기 위한 고밀도 플라즈마 소오스로는 헬리콘 소오스[4], 루프형 유도결합형 소오스[5], 내장형 유도결합형 소오스[6-8] 등이 있다. 이러한 소오스들 중 내장형 형태의 플라즈마 소오스는 소오스 안테나로부터 전자기장의 에너지

가 유전체 창을 통하여 플라즈마로 에너지가 전달되는 외장형 플라즈마 소오스와 비교하여 두꺼운 유전체 창이 필요로 하지 않기 때문에 대면적 플라즈마 소오스로 적합하다. 그래서 내장형 serpentine-type의 안테나를 이용한 연구가 활발히 이루어지고 있다.[6,9-10] 그러나 TFT-LCD 공정의 과정에서 내장형 serpentine-type 안테나의 긴 길이는 안테나의 높은 임피던스를 유발시키고, 챔버 사이즈가 점점 증가됨에 따라 높은 안테나 전압으로 플라즈마의 불안정성 등의 문제가 발생한다.

본 연구에서는 차세대 TFT-LCD 대면적 플라즈마 공정에 적용 가능한 고밀도 플라즈마를 발생시키기 위하여 작은 임피던스, 정상파 효과의 최소화의 특성을 갖는 내장형 유도결합형 multiple U-Type 안테나를 사용하여 플라즈마 특성을 알아 보았다.

II. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 실험에서 사용하였던 실험장비의 개략도를 보여준다. 플라즈마 공정 챔버는 평판형 디스플레이 공정을 위해 직각의 형태로 고안되었다. 챔

* [전자우편] limssi@skku.edu

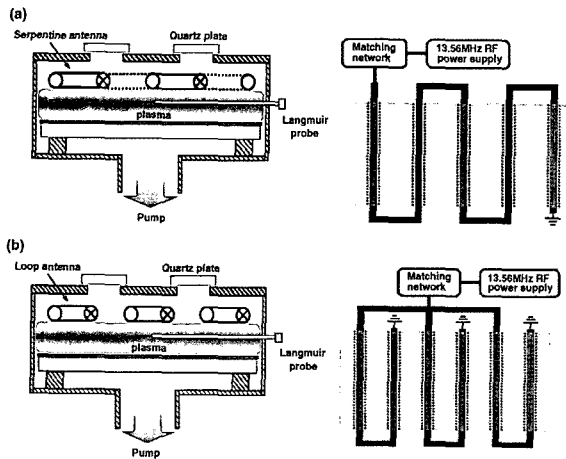


Fig. 1. 실험에서 사용된 장비의 개략도 (a) serpentine-type 안테나 (b) multiple U-type 안테나

버의 내부 크기는 1020mm × 830mm이고 기판 holder 크기는 920mm × 730mm이며 기판 크기는 880 × 660mm이다. Fig. 1의 (a) serpentine-type 안테나의 경우에 다섯 개의 직선의 안테나가 진공 챔버안에 내장되어 있고 각각의 선형 안테나는 직렬로 연결되어져 있다. 그러나 Fig. 1의 (b)의 multiple U-type 안테나의 경우에는 single U-type 안테나의 3쌍으로 구성되어 있고 각각의 single U-type 안테나는 한 쪽이 RF 입력전력에 연결되어 있으며, 끝단은 접지 되어 있다. serpentine-type 안테나의 길이는 7m이고, U-type 안테나는 2.3m이다. 안테나는 지름 10mm의 구리판으로 이루어져 있으며, 안테나의 외부는 석영관으로 구성되어 있다. 석영관의 외부 지름은 15mm이고 두께는 2mm이다. 13.56MHz (0-5kW) 입력전력은 L-type matching network를 통해서 공급되어진다. 내장형 ICP 소스의 플라즈마 밀도, 플라즈마 전위, 플라즈마 균일도를 알아보기 위해 Ar 가스를 사용하였고, 플라즈마 특성 분석을 위하여 챔버의 수직 중심선을 따라 안테나 아래 7.5cm에 위치한 Langmuir probe(Hiden Analytical, ESP)로 플라즈마 전위와 전자온도를 측정하였다. 안테나 길이에 따른 RF 평균전압은 오실로스코프(oscilloscope)와 high voltage probe(Tektronix, P6015A)로 측정하였다. 그리고 산소 라디칼의 intensity는 optical emission spectroscopy (OES, SCTech, PSM-420)을 이용하여 측정했다. 또한 식각 균일도를 측정하기 위해 photoresist AZ9260(photoresist 용액)을 3 μ m 도포한 시편을 5000W의 입력전력, O₂

가스 공정압력 15mTorr 조건으로 식각하였다.

III. 실험결과 및 토의

Fig. 2는 Ar gas 15mTorr 공정압력과 2000W의 입력전압에서 serpentine-type 안테나와 multiple U-type 안테나의 RF전력의 입력단 지점에서 안테나의 접지점까지의 안테나선을 따라서 측정된 안테나의 RF 평균전압을 보여준다. 대면적 적용을 위한 내장형 serpentine-type 안테나의 문제는 안테나의 긴 길이로 인한 정상파 효과와 안테나에 걸리는 높은 임피던스로 인한 안테나의 높은 전압 등에서 생기는 정전결합을 들 수 있다. Fig. 2에서 나타난 것과 같이 7m 길이의 serpentine-type 안테나의 경우에 안테나선을 따라 측정된 안테나의 RF 평균전압은 정상파 효과로 인하여 안테나 위치간 평균전압이 650V이상의 차이를 보인다. 그러나 2.3m의 multiple U-type 안테나의 경우에는, 안테나선의 짧은 길이 때문에 안테나선을 따라 측정된 평균전압의 차이가 약 100V정도로 serpentine-type 안테나보다 낮은 양상을 보여준다.

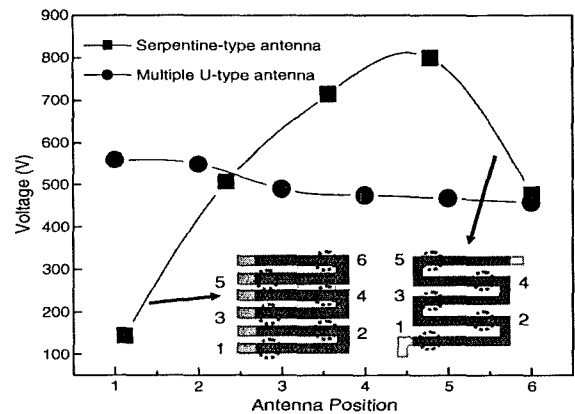


Fig. 2. Ar 가스 15mTorr 공정압력과 2000W의 입력전력에서 high voltage probe로 측정된 serpentine-type 안테나와 multiple U-type 안테나의 위치간 평균전압분포

Fig. 3은 serpentine-type 안테나와 multiple U-type 안테나 각각을 15mTorr Ar과 O₂를 사용하여 600W~1500W의 입력전력의 영역에서 OES로 산소 radical의 intensity를 측정하였고 랑뮤어프로브로 Ar 플라즈마 밀도를 측정하였다. 플라즈마 밀도는 챔버의 중앙과 안테나 아래 7.5cm에 대해 측정하였고, optical emission line 775nm로 산소 라

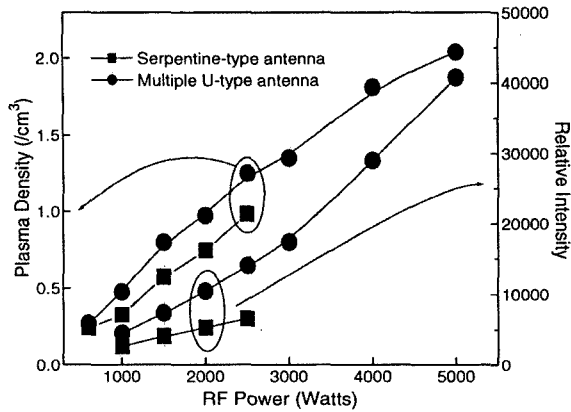


Fig. 3. Ar 가스 15mTorr 공정압력에서 600W에서 5000W까지의 입력전력을 변화시키며 랭뮤어 프루브로 측정된 serpentine-type 안테나와 multiple U-type 안테나의 플라즈마 밀도와 OES로 측정된 산소 라디칼 intensity

디칼의 intensity를 측정하였다. 그림에서 나타난 것과 같이 multiple U-type 안테나는 serpentine-type 안테나와 비교하여 더 높은 플라즈마 밀도와 더 높은 산소 라디칼의 intensity를 보여준다. Multiple U-type 안테나의 경우에 플라즈마 밀도와 산소 라디칼의 intensity는 입력전력이 증가함에 따라 거의 선형적으로 증가함을 알 수 있고 5000W 입력전력에서 $2 \times 10^{11}/\text{cm}^3$ 의 플라즈마 밀도를 관찰할 수 있었다. 그러나 serpentine-type 안테나의 경우에는 안테나에 유도되는 높은 전압으로 인하여 2500W 입력전력 이상에서는 플라즈마의 불안정성으로 측정이 불가능 하였다. 2500W 입력전력에서

multiple U-type 안테나는 serpentine-type 안테나에 비교하여 25% 정도의 높은 플라즈마 밀도와, 100% 높은 산소 radical의 intensity 강도를 보인다.

Fig. 4는 serpentine-type 안테나와 multiple U-type 안테나를 랭뮤어프루브를 사용하여 Ar 가스 15mTorr 공정압력에서 입력전력을 인가하여 측정된 플라즈마 전위와 전자의 온도를 보여 주고 있다. 플라즈마 전위와 전자의 온도는 챔버의 중앙과 안테나 아래 7.5cm에서 측정하였고 그림에서와 같이 serpentine-type 안테나의 경우에는 600W~2500W로 입력전력이 변화함에 따라 플라즈마 전위는 37V~42V로 연속적으로 증가한다. 그러나 multiple U-type 안테나의 경우, 플라즈마 전위는 serpentine-type 안테나의 플라즈마 전위와 비교하여 600W에서 26V의 낮은 전압으로 시작되고 입력전력이 증가함에 따라 점차 감소하여 3000W에서 20V정도로 포화됨을 알 수 있다. 또한 전자 온도도 비슷한 양상을 보임을 알 수 있는데, 그림에서 나타나듯이 serpentine-type 안테나에서 전자 온도는 600W의 3.2eV에서 2000W의 3.4eV까지 약 0.2eV가 증가한다. 그러나 multiple U-type 안테나에서는 600W의 3.2eV에서 5000W 2.5eV까지 약 0.7eV 감소한다. Multiple U-type과 비교해서 serpentine-type의 높은 플라즈마 전위와 전자의 온도는 안테나에 높은 전압의 유도로 인한 정전 용량성 결합에 기인된다고 사료된다. 그리고 multiple U-type 안테나에서 플라즈마 전위와 전자 온

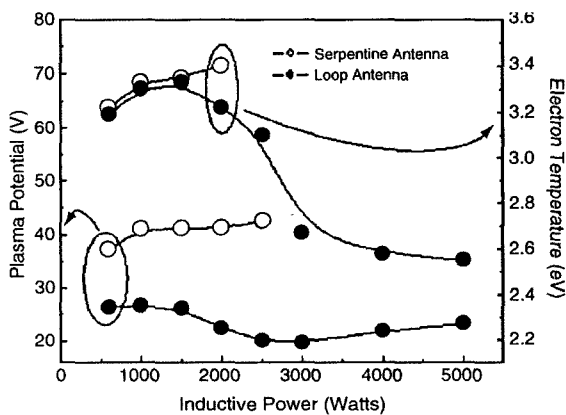


Fig. 4. Ar 가스 15mTorr 공정압력에서 600W에서 5000W까지의 입력전력을 변화시키며 랭뮤어 프루브로 측정된 serpentine-type 안테나와 multiple U-type 안테나의 플라즈마 전위와 전자온도

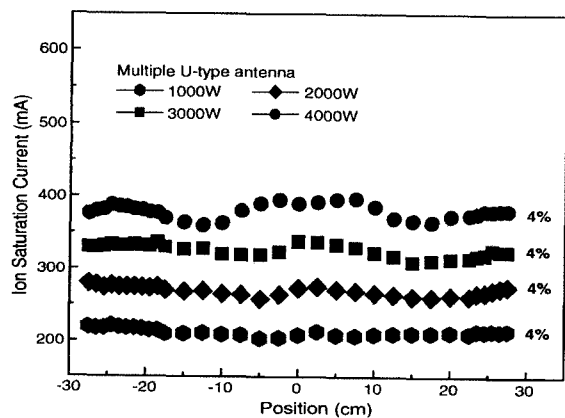


Fig. 5. Ar 가스 15mTorr 공정압력과 1000W에서 4000W의 입력전력을 변화시키며 -60V의 랭뮤어 프루브로 측정된 multiple U-type 안테나의 균일도와 이온포화전류

도의 급격한 감소는 1500W와 3000W사이에서 일어나는데, 이는 정전용량성 결합으로부터 유도성 결합으로의 전이를 나타낸다. Multiple U-type 안테나를 사용한 플라즈마 균일도는 Ar 가스 공정압력 15mTorr에서 챔버의 수직 중심선을 따라 -60V를 가한 램뮤어프로브를 사용하여 이온의 포화 전류를 측정하였다. 이 결과는 Fig. 5에 제시하였다. 그림에서 나타나듯이 입력전력의 증가는 플라즈마 밀도를 증가시키고, 이로 인해 이온 전류 밀도가 증가되었다. 그러나 플라즈마 균일도는 입력전력에 관계없이 모든 상태에서 약 4%로 유지되어짐으로써 multiple U-type 안테나를 사용하여 좋은 플라즈마 균일도를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는, 대면적 TFT-LCD공정을 위한 내장형 선형 ICP소스의 적용으로써 새롭게 고안된 multiple U-type 안테나와 기존의 serpentine-type 안테나의 특징을 비교하였다. Multiple U-type 안테나는 짧은 안테나 길이와 낮은 임피던스로 인하여 serpentine-type 안테나와 비교하여 무시 할만한 정상파 효과를 보이고, 낮은 안테나 전압을 관찰 할 수 있었다. 또한 Multiple U-type 안테나는 5000W 입력전력에서 $2 \times 10^{11}/\text{cm}^3$ 의 높은 플라즈마 밀도를 보이고 Multiple U-type 안테나에서 얻어진 낮은 플라즈마 전위와 낮은 전자 온도로 인하여 상대적으로 안정한 플라즈마를 여기서시켰다. Multiple U-type 안테나는 플라즈마 밀도가 $2 \times 10^{11}/\text{cm}^3$ 로써 기존의 정전결합플라즈마 소오스 [12-15]에 비하여 높은 밀도를 구현할 수 있으며 더 안정한 플라즈마 공정에 적용이 가능하다. 챔버의 수직 방향을 따라 측정된 multiple U-type 안테나의 균일도는 약 4%이고, 이는 Multiple U-type 안테나를 사용한 내장형 ICP 소스가 좋은 균일도와 고밀도 플라즈마를 바탕으로 대면적 TFT-LCD의 다양한 플라즈마 공정에 적용될 수 있음을 보여준다.

감사의 글

이 논문은 한국과학재단의 국가지정연구실 사업의 일환으로 지원되었다.

참 고 문 헌

- [1] J. Hopwood, Plasma Sources Sci. Technol. **1**, 109 (1992).
- [2] D. B. Graves, IEEE Trans. Plasma Sci. **22**, 31 (1994).
- [3] T. Fukasawa, A. Nakamura, H. Shindo, and Y. Horike, Jpn. J. Appl. Phys. **33**, 2139 (1994).
- [4] F. F. Chen, X. C. Jiang, and J. D. Evans, J. Vac. Sci. Technol. A, Vac. Surf. Films **18**, 2108 (2000).
- [5] Y. Setsuhara, S. Miyake, Y. Sakawa, and T. Shoji, Jpn. J. Appl. Phys. **38**, 4263 (1999).
- [6] Y. Wu and M. A. Lieberman, Appl. Phys. Lett. **72**, 777 (1998).
- [7] K. N. Kim, Y. J. Lee, S. J. Kyong, and G. Y. Yeom, Surf. Coat. Technol. **752**, 177 (2004).
- [8] K. N. Kim, Y. J. Lee, S. J. Kyong, and G. Y. Yeom, Jpn. J. Appl. Phys. **43**, 4373 (2004).
- [9] Y. Wu and M. A. Lieberman, Plasma Sources Sci. Technol. **10**, 276 (2001).
- [10] T. Meziani, P. Colpo, and F. Rossi, Plasma Sources Sci. Technol. **10**, 276 (2001).
- [11] M. Kahoh, K. Suzuki, J. Tonotani, K. Aoki, and M. Yamage, Jpn. J. Appl. Phys. **40**, 5419 (2001).
- [12] K. N. Kim, S. J. Jung, Y. J. Lee, S. H. Lee, J. K. Lee, and G. Y. Yeom, J. Appl. Phys. **97**, 063302 (2005).
- [13] S. H. Kim, J. M. Park, and S. H. Hong, J. Korean Phys. Soc. **46**, 855 (2005).
- [14] Y. H. Lee and G. Y. Yeom, J. Korean Phys. Soc. **47**, 74 (2005).
- [15] C. Y. Chang and S. M. Sze, *ULSI Technology* (McGraw-Hill, New York, 1996), p.329.

Characteristics of Inductively Coupled Plasma with a Multiple U-Type Internal Antenna for Flat Panel Display Applications

J. H. Lim*, K. N. Kim, and G. Y. Yeom

Department of Materials Science and Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746

(Received January 13, 2006)

In this study, the characteristics of large area internal linear ICP sources of 1020mm X 920mm(substrate area is 880 X 660mm) were investigated using two different types of antenna, that is, a conventional serpentine-type antenna and a newly developed multiple U-type antenna. The multiple antenna showed a higher plasma density, a higher radical density, and more plasma stability compared to the serpentine-type antenna, and it appeared from the higher inductively coupling and less standing wave effect compared to the serpentine-type antenna. Using the multiple U-type antenna, the plasma density of $2 \times 10^{11}/\text{cm}^3$ with the plasma uniformity of 4% could be obtained using 15mTorr Ar and 5000W of RF power.

Keywords : Plasma, Flat panel display, Large area, Antenna

* [E-mail] limssi@skku.edu