

병렬 안테나에 따른 플라즈마원의 균일도 연구

배근희 · 서상훈 · 장홍영

한국과학기술원 물리학과
(1998년 4월 3일 접수)

Study on the Uniformity of Plasma Density at TCP Using Parallel Antennas

Geun-Hee Bai, Sang-Hun Seo and Hong-Young Chang

Department of Physics, Korea Institute of Science and Technology
(Received April 3, 1998)

요 약 - 안테나에 따른 플라즈마 밀도의 균일도 연구를 위해 병렬 안테나를 설계하고 이중 랑뮤어 탐침과 자기장 측정 탐침을 이용하여 각각의 플라즈마 밀도와 자기장의 세기를 측정하였다. 나비형 안테나를 사용했을 때 플라즈마 밀도가 $\sim 2 \times 10^{11} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ 로 다른 두 안테나를 사용했을 때보다 높았으며, 전자의 온도는 2 eV 이하로 동일한 조건에서의 나선형 안테나보다 낮게 나왔다. 또 전류의 방향이 서로 다른 두개의 안테나선이 가까이 있거나 안테나 성분끼리 양성 결합(positive coupling)을 하는 경우에는 동력 효율(power efficiency)이 매우 낮아졌다.

Abstract - Three different parallel antennas are designed to investigate plasma uniformity and magnetic field using a double Langmuir probe and a magnetic probe. Butterfly antenna has the highest density of $\sim 2 \times 10^{11} \text{ (cm}^{-3}\text{)}$ among the three antennas and has electron temperature less than 2 eV, lower than the spiral antenna. It is found that the power efficiency becomes lower with spaced parallel antenna elements due to oppositely directed currents and positive coupling.

1. 서 론

현재의 6~8 inch 기판은 공정에서 높은 수율(yield)을 위해 12 inch 이상의 대면적 플라즈마원을 필요하게 되었다. 공정에 쓰이는 Transformer Coupled Plasma(TCP) [1-5]의 안테나는 나선형 안테나와 1회전 안테나(1-turn antenna)이다. 그러나, 대면적으로 갈 경우 윈도우의 두께가 증가하여 플라즈마와 안테나 사이의 거리가 멀어지게 되므로 안테나에 흐르는 전류가 커져야 하고 안테나의 인덕턴스가 증가하므로 안테나에 높은 전압이 걸리게 된다. 그 결과 축전 결합(capacitive coupling)이 커져 sheath에서 강한 전위차가 생겨 공정에 나쁜 영향을 미치게 된다. 또, 모양에 변화를 주기 어려워 대면적 플라즈마원에 이용되기에는 여러 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 작은 인덕턴스를 가지는 안테나가 필요하게 되었으며 현재 여러 형태

의 병렬 안테나가 그 해결책으로 연구되고 있다. 이 논문은 세 가지 병렬 안테나를 이용한 플라즈마의 특성들을 살펴보았다.

2. 실험 방법

Fig. 1은 이번 실험에 사용된 플라즈마 용기를 나타낸 것이고 Fig. 2는 이번 실험에 쓰인 병렬 안테나들로 각각 나비형 안테나, 변형된 나비형 안테나 그리고 삼각형 안테나이다.

방전 기체로는 아르곤이 사용되었으며, 압력은 10 mTorr로 고정하였다. 출력과 위는 500 W로 고정하였으며, 안테나에 인가된 출력 주파수는 13.56 MHz를 사용하였다. 방사선 방향으로의 플라즈마 밀도와 전자 온도를 측정하기 위해 $z=9(\text{cm})$ 에서 이중 랑뮤어 탐침을 방사선 방향으로 1(cm)씩 삽입시켰다. 축 방향으로의 밀

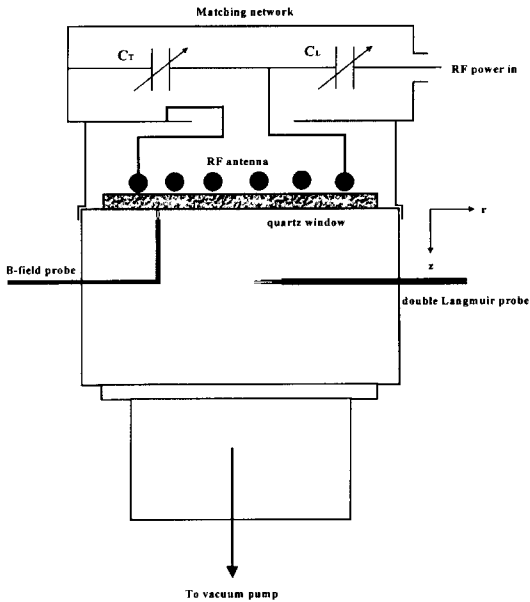


Fig. 1. 플라즈마 용기의 구조.

도 측정에도 이중 랑뮤어 탐침을 사용하였으며, 자기장의 측정에는 자기장 측정 탐침이 이용되었으며 탐침의 코일 위치가 $z=1(\text{cm})$ 정도 떨어져 있게 하기 위해 탐침은 ‘L’자 모양으로 만들어졌다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 나비형 안테나

나비형 안테나는 네 개의 사분원 모양의 날개를 병렬로 연결하여 전체 인덕턴스가 작아지게 했다. 중심에서 방사선 방향으로 나가는 전류는 방향이 모두 같으나 안테나 바깥의 방위각(θ) 방향으로는 방향이 날개마다 엇갈리게 되어 하나의 큰 원을 그리진 못하게 되었다. Fig. 3은 나비형 안테나를 사용했을 때 방사선 방향으로의 플라즈마 밀도와 전자 온도를 나타낸 것이다. 전자 온도는 2 eV 이하로 나왔으며, 이것은 동일한 조건에서의 나선형 안테나를 사용했을 때의 $3\sim 5\text{ eV}$ 보다 낮은 값이다.

Fig. 4는 방사선 방향으로 자기장의 세기를 측정할 것으로 측정 경로는 밀도 측정할 경로와 같다. 안테나의 모양에 따라 자기장의 세기가 매우 대칭성을 보이고 있다. 자기장(방사선 방향)은 $r=\pm 3(\text{cm})$ 에서 최대가 되었으며, 중심인 $r=0(\text{cm})$ 와 $r=\pm 7(\text{cm})$ 에서 최소가 되었다. $r=\pm 3(\text{cm})$ 에서 최대가 되는 이유는 그 부근에 안테나선들이 몰려 있기 때문이고, 중심에서 자기장이 작은 이유

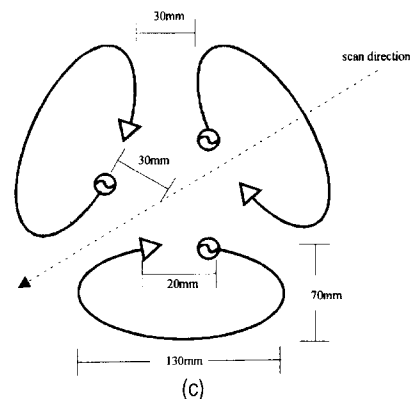
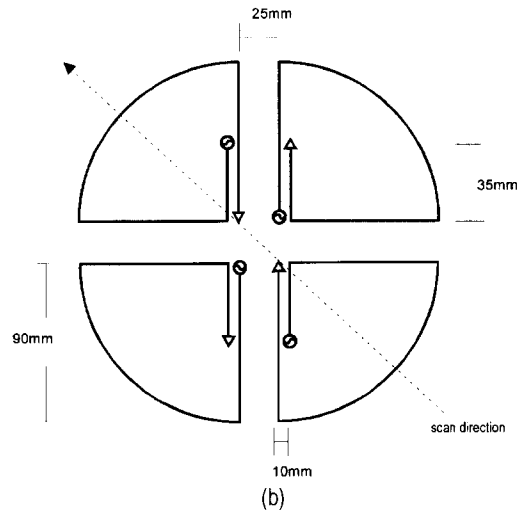
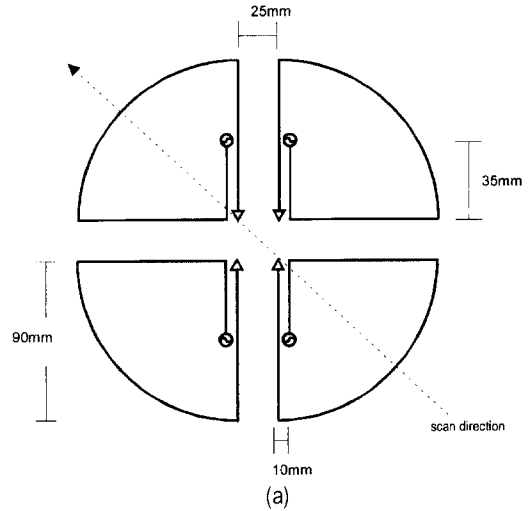


Fig. 2. (a) 나비형 안테나, (b) 변형된 나비형 안테나, (c) 삼각형 안테나.

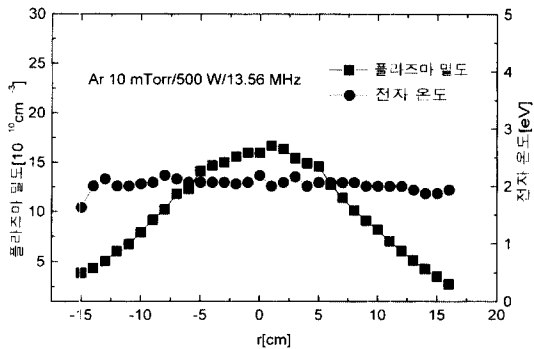


Fig. 3. 나비형 안테나의 방사선 방향으로의 플라즈마 밀도와 온도 분포.

는 이웃한 안테나선들 간의 간섭에 의해 자기장이 상쇄되기 때문이며, $r = \pm 7(\text{cm})$ 에서 작아지는 이유는 안테나에서 가장 멀리 떨어진 지점이기 때문이다.

방사선 방향으로의 플라즈마 밀도는 $r < 10(\text{cm})$ 에서 $\sim 2 \times 10^{11}(\text{cm}^{-3})$ 로 같은 조건에서 1회전 안테나를 사용했을 때의 $\sim 4 \times 10^{11}(\text{cm}^{-3})$ 보다 약간 작았다. 이것은 안테나 날개들간의 상호 인덕턴스에 의해 안테나에서 소모되는 출력이 증가했기 때문이다. 축 방향으로의 플라즈마 밀도 분포는 Fig. 5에서 나타나 듯이 $z=6(\text{cm})$ 에서 가장 높았으며 동일한 조건에서 1회전 안테나를 사용했을 때의 결과와 일치한다. 축 방향으로의 전자 온도는 방사선 방향에서와 마찬가지로 $\sim 2 \text{ eV}$ 였다.

나비형 안테나의 경우 센터에서의 밀도가 매우 높았다. 나선형 안테나의 경우도 중심에서의 밀도가 높게 나오는데 이것은 안테나의 중공과 모서리 사이부분에서 인덕티브 전기장의 세기가 가장 크기 때문이다[6]. 나비형 안테나의 경우도 마찬가지로 이유로 중심에서 플라즈마 밀도가 높아진다. 센터에서의 높은 밀도는 수정 원도우의 두께나 모양을 조절하는 방법 등으로 해결될 수

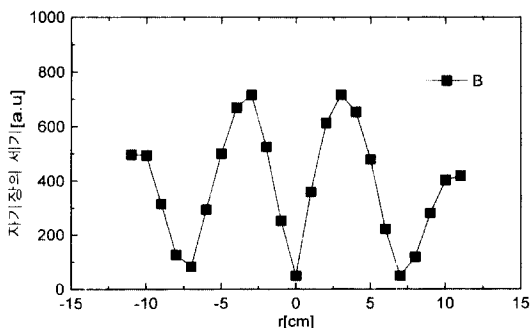


Fig. 4. 나비형 안테나의 방사선 방향으로의 자기장 분포.

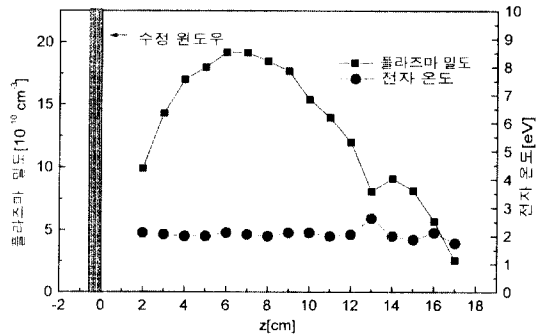


Fig. 5. 나비형 안테나의 축 방향으로의 플라즈마 밀도와 온도.

있다[6].

3.2 변형된 나비형 안테나

변형된 나비형 안테나는 나비형 안테나에서 파워 입력부분과 그라운드를 엇갈리게 해 놓은 모양이다. 그 결과 센터에서 방사선 방향으로의 전류는 방향이 이웃 날개마다 서로 반대가 되나 바깥쪽의 방위각 방향의 전류는 방향이 모두 같아져 하나의 큰 원을 그리게 된다.

변형된 나비형 안테나를 사용한 플라즈마의 경우 Fig. 6에 나타나듯이 전자의 온도가 $\sim 3 \text{ eV}$ 로 나선형 안테나와 1회전 안테나보다는 낮았으나 나비형 안테나보다는 약간 높았다. 플라즈마 밀도는 $\sim 4 \times 10^9(\text{cm}^{-3})$ 로 셋 중에서 가장 낮았다. 흐름의 방향이 서로 다른 전류가 거리

$$l_c = 2 \times (\text{수정 원도우의 두께} + \text{라디오파의 침투깊이})$$

이내에 있을 때는 서로의 인덕티브 전기장을 상쇄시켜 버리게 된다[7]. 이번 실험에서는 수정 원도우의 두께가 약 1(cm)이고 라디오파의 침투 깊이가 2~3(cm) 정

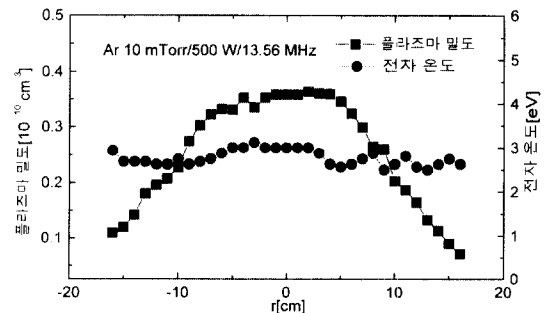


Fig. 6. 변형된 나비형 안테나의 방사선 방향으로의 플라즈마 밀도와 온도 분포.

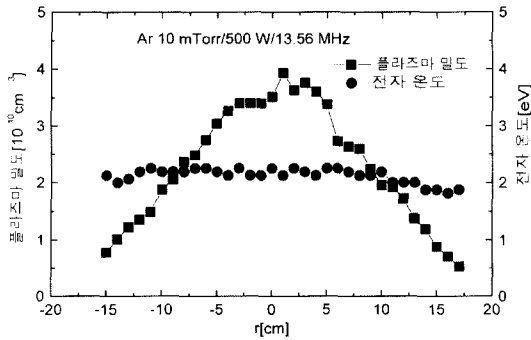


Fig. 7. 삼각형 안테나의 방사선 방향으로의 플라즈마 밀도와 온도 분포.

도이므로 $l_c \approx 6(\text{cm})$ 이다. 변형된 나비형 안테나의 경우 방사선 방향으로 흐르는 전류가 방향이 서로 반대이며 간격이 $1(\text{cm})$ 정도로 이것보다 훨씬 작으므로 서로의 인덕티브 전기장을 상쇄시키는 결과를 가져오게 된다. 그 결과 전자의 가열이 잘 일어나지 않게 되어 플라즈마 밀도가 낮아지는 결과를 가져온다.

또 각 날개들간의 자기장 플럭스의 방향이 같으므로 양성 결합(positive coupling)이 일어나 상호 인덕턴스가 증가하여 코일들 사이에서 소비되는 파워가 증가하여 플라즈마에 흡수되는 출력이 줄어들게 된다. $r = \pm 5(\text{cm})$ 에서 매우 균일한 영역이 생겼으나 밀도가 낮았다.

3.3 삼각형 안테나

삼각형 안테나는 세 개의 날개만으로 구성되어 날개들 사이의 거리가 증가하였으며, 방사선 방향으로 나가는 전류의 방향은 서로 반대가 되고 방위각 방향으로 전류가 큰 원을 그리게 되어있다.

삼각형 안테나를 사용한 플라즈마의 경우 전자 온도는 2.3 eV 정도로 나비형 안테나보다 약간 높았으며, 플라즈마 밀도는 $\sim 4 \times 10^{16} (\text{cm}^{-3})$ 로 나비형 안테나와 변형된 나비형 안테나를 사용한 경우의 중간 정도였다. Fig. 7은 삼각형 안테나의 플라즈마 밀도와 온도 분포를 나타낸 것이다. 삼각형 안테나도 방사선 방향으로 흐르는 전류는 날개마다 방향이 서로 반대이고 간격이 $2\sim 3(\text{cm})$ 정도여서 변형된 나비형 안테나와 같이 l_c 보다 짧으므로 인덕티브 전기장이 서로 상쇄 간섭을 일으켜 밀도가 낮아지게 된다. 또 변형된 나비형 안테나와 마찬가지로 자기장이 양성 결합을 하므로 상호 인덕턴스가 커지게 되어 안테나에서 소비되는 출력이 커지게 된다. $r=0(\text{cm})$ 를 기준으로 밀도가 대칭이 되지 않는데 이것은

밀도 측정 방향을 생각하면 쉽게 이해할 수 있다. 밀도의 비 대칭성을 줄이기 위해선 날개들 사이의 간격을 줄여야 하지만 그럴 경우 변형된 나비형 안테나에서의 경우에서처럼 날개들간의 전기장의 상쇄가 증가하여 밀도를 저하시키게 된다.

4. 결 론

여러 가지 병렬 안테나를 이용한 플라즈마의 특성을 조사하였다. 병렬 안테나는 대면적 플라즈마로 갈 경우 기존의 나선형 안테나보다 인덕턴스가 작아져 플라즈마와 안테나 사이의 축진 결합이 줄어들다는 장점을 가지고 있다. 또 여러 개의 파워 소스를 가지고 있어서 파워 소스의 위치 변동이 쉬워 넓은 면적을 커버할 수 있다.

이번에 실험한 병렬 안테나에 의한 플라즈마는 전자의 온도가 $\sim 3 \text{ eV}$ 로 요즘 공정에 널리 쓰이고 있는 나선형 안테나와 1회전 안테나의 $3\sim 5 \text{ eV}$ 보다 약간 낮게 나왔으며 밀도는 나비형 안테나 > 삼각형 안테나 > 변형된 나비형 안테나 순이었다.

방향이 서로 다른 전류가 l_c 보다 작은 거리를 두고 흐를 때는 플라즈마 밀도가 현저하게 낮아졌다. 따라서 안테나 사이의 간격을 넓히거나 방향을 같게 해야 할 것이나 삼각형 안테나에서 나타나듯이 안테나 사이의 간격을 넓히면 플라즈마 밀도의 대칭성이 떨어지게 된다. 또 변형된 나비형 안테나와 삼각형 안테나에서 나타나듯이 날개들의 자기장 플럭스 방향이 같을 때는 날개들 끼리는 양성 결합이 일어나 상호 인덕턴스가 커져 안테나에서 소비되는 출력이 증가하는 단점을 가지게 된다.

참고문헌

1. J. H. Keller, J. C. Forster and M. S. Barnes, *J. Vac. Sci. Technol. A* **11**, 2487 (1993).
2. T. Fukasawa, T. Nouda, A. Nakamura, H. Shindo and Y. Horiike, *Jpn. J. Appl. Phys.* **32**, 6076 (1993).
3. P. L. G. Ventzek, R. J. Hoekstra and M. J. Kushner, *J. Vac. Sci. Technol. B* **12**, 461 (1994).
4. R. A. Stewart, P. Vitello and D. B. Graves, *J. Vac. Sci. Technol. B* **12**, 478 (1994).
5. R. B. Piejak, V. A. Godyak and B. M. Alexandrovich, *Plasma Sources Sci. Technol.* **3**, 169 (1994).
6. J. H. Keller, *Plasma Sources Sci. Technol.* **5**, 166 (1996).
7. A. E. Wendt and L. J. Mahoney, *Pure & Appl. Chem.* **68**, 1055 (1996).