

RF보상 삼중탐침을 통한 RF 플라즈마 진단

최익진, 정진욱
한양대학교 전기공학과

The study of RF plasma diagnostics and characteristics for RF compensation triple probe

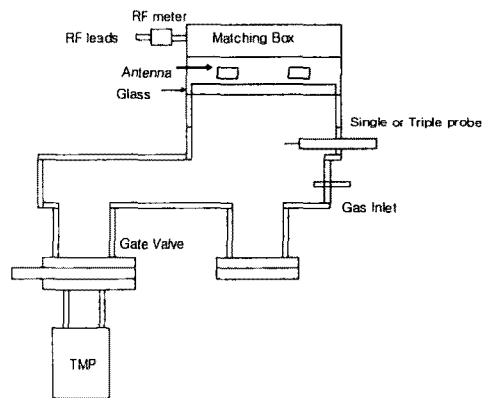
Ik-jin Choe, Chin-wook Chung
Hanyang Univ. Electrical Engineering

Abstract - 삼중탐침법은 세 개의 탐침으로 플라즈마의 전자온도와 밀도를 구할 수 있는 정전탐침법이다. 삼중탐침은 빠른 시간에 플라즈마 변수를 구할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 따라서 펄스파워로 구동되는 플라즈마나 시간에 대해 변화가 심한 플라즈마에서 주로 사용된다. 하지만 RF전원으로 구동되는 플라즈마의 경우에는 RF교란과 잡음에 의해서 측정값에 왜곡이 일어난다. 또한 바이어스 전압에 따라 측정값에 차이가 나타나게 된다. 유도 결합 플라즈마에서 RF교란을 줄였을 경우에 대한 효과를 알아보기 위해 RF보상 삼중탐침을 통하여 RF 잡음 및 교란을 줄이고, 적당한 바이어스 전위를 구했다. RF보상 삼중탐침의 부유전압을 제어 Self-bias가 줄어들을 알 수 있었고, 전자온도와 밀도의 측정값이 단일탐침 측정값과 비슷하게 나옴을 알 수 있었다.

을 이용한 측정을 일반적인 삼중탐침을 이용한 측정과 비교해 보았다. 또한 RF 보상 삼중탐침과 단일탐침과의 비교를 통한 알맞은 바이어스 전압을 찾아보았다.

2. 본 론

2.1 실험 장치 및 방법



위 그림은 전반적인 실험 장치의 구성이다. 플라즈마가 방전되는 공간인 반응기는 원통형으로서 지름이 392mm, 높이가 124mm 이다. 사용한 안테나는 1/4인치 구리 재질의 튜브이며 표면 산화를 방지하기 위하여 은으로 도금되어 있고 구성 모양은 원형으로 구부러져 지름 30cm 와 두께가 2cm 인 유리판 위에 설치되어 있다. 전원 공급 장치는 주파수가 13.56Mhz 이며 최대 1kW까지 공급할 수 있으며 진공 가변 축전기 2개로 이루어진 얼터너티브 타입의 매칭 박스에 연결되어 있다. 매칭 박스와 연결된 RF 파워 미터를 통해서 반사되는 파워를 측정 후 가변 콘덴서를 조정하여 RF 파워를 매칭한다. 반응 기체로 아르곤 가스를 사용하였으며 유량 조절기를 통해서 공급되며 초기 진공 (1×10^{-2} mTorr)을 위한 로터리 펌프와 고진공 (5×10^{-5} mTorr)을 위한 터보 펌프가 연결되어 있다. 일반적인 삼중탐침과 RF보상 삼중 탐침과 측정값을 비교하기 위한 단일탐침을 같은 공간에서 번갈아 가며 측정하였다. 삼중탐침의 탐침부는 일반적인 탐침과 RF보상 탐침 모두 길이는 10mm이며 지름이 0.5mm인 텅스텐으로 구성되어 있다. 단일탐침의 탐침부는 길이는 10mm이며 지름이 0.1mm인 텅스텐으로 구성되어 있다. RF보상 삼중탐침과 단일탐침은 각각의 탐침에 RF초크필터가 연결되어 있어서 RF 잡음을 제거한다.

1. 서 론

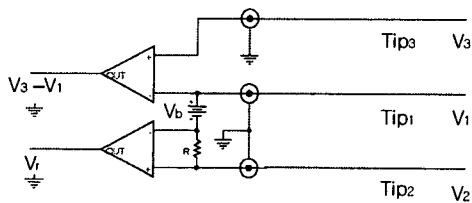
플라즈마는 반도체 공정, 액정 표시 장치 등의 물질 증착과 식각 등에 사용되고 핵융합 등 다양한 분야에 사용 된다. 플라즈마 내에는 많은 변수들이 플라즈마의 물리적, 화학적인 과정에 영향을 주고 있다. 따라서 적절한 진단도구를 사용하여 플라즈마의 변수들을 구해내는 것은 플라즈마를 제어하는데 중요한 일이다.

플라즈마 진단법에는 많은 방법이 있지만 가장 많이 사용하는 방법이 정전탐침법이다. 정전탐침법에는 단일탐침법과 이중탐침법, 삼중탐침법 등이 있다. 단일탐침법은 탐침에 전압을 인가하면서 탐침에 흘러 들어오는 전류를 측정하여 I-V 곡선을 분석하여 플라즈마 변수를 구하는 방법이다. 이중탐침법은 크기가 동일한 전압 원으로 연결된 탐침에 전압을 인가하며 탐침 사이에 흐르는 전류를 측정하여 I-V 곡선을 분석하여 플라즈마 변수를 구하는 방법이다.

이에 비해 삼중탐침은 하나의 기준 탐침과 바이어스 전압으로 연결된 두개의 탐침으로 구성되어있다. 기준탐침과 바이어스탐침과의 전압 차와, 바이어스로 연결된 두 탐침에 흐르는 전류값으로 전자온도와 밀도를 구할 수 있다. 삼중탐침의 경우 다른 탐침의 측정법과는 다르게 I-V 곡선을 구하기 위한 전압을 Sweep할 필요가 없으므로 실시간으로 전자온도와 밀도를 구할 수 있다. 또한 이에 따른 높은 시간 분해능을 가지므로 빠르게 변화하는 플라즈마나 펄스파워로 구동되는 플라즈마의 측정에도 사용할 수 있다. 그리고 Floating 방식으로 disturbance가 적은 장점을 가지고 있다.

하지만 CCP나 ICP 등의 RF전원으로 구동하는 플라즈마의 경우에는 플라즈마가 RF로 떨리기 때문에 삼중 탐침의 측정에 영향을 주어 측정의 정확도를 떨어뜨린다. 따라서 삼중 탐침을 이용하여 측정할 때에도 RF보상을 하여 정확도를 높여 주어야 한다.

본 논문에서는 RF보상회로를 넣은 RF보상 삼중탐침



그림은 삼중탐침의 회로도이다. Tip3은 부유되어 있고 Tip1, Tip2 사이에는 부유된 Bias 전압을 걸 수 있게 되어 있다. 또한 Tip1, Tip2 사이에 저항을 연결하여 Tip1에서 Tip2로 흐르는 전류의 값을 측정할 수 있게 하였다. Tip1과 Tip3, R 양단을 각각 Difference Amplifier에 연결하여 Tip1과 Tip3의 전위차와 R에 걸리는 전위차를 측정할 수 있게 하였다. Difference Amplifier의 입력 저항은 약 400kΩ 정도로 팁의 작동에 거의 영향을 주지 않을 정도로 크다고 가정하였다.

삼중 탐침의 작동원리는 한 탐침은 부유시키고, 나머지 두 탐침 사이에 일정한 바이어스 전압을 걸어 각각의 탐침의 전압의 차이로 전자온도와, 이온의 밀도를 구하는 방법이다. 탐침에 일정한 전압이 걸렸을 경우 탐침으로 들어오는 전류의 양은 $I_b = -I_{\infty} e^{\frac{e(V_1 - V_2)}{kT_e}} + I_{is}$ 이다. Tip3은 부유된 탐침으로 전류가 흐르지 않고, Tip1과 Tip2는 플라즈마와 함께 폐회로로 연결이 되어 있으므로 Tip1에서 나가는 전류의 양은 Tip2에서 들어오는 전류의 양과 같게 된다. 각각의 탐침에 들어오는 전류의 양을 I_1, I_2, I_3 라고 하면 $-I_1 = I_2, I_3 = 0$ 이므로

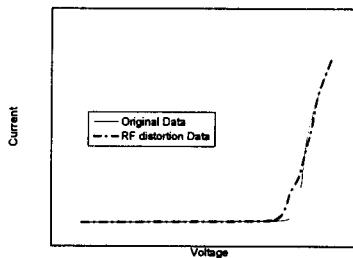
$$\frac{-I_1 + I_2}{-I_1 + I_3} = \frac{1 - e^{\frac{e(V_1 - V_2)}{kT_e}}}{1 - e^{\frac{e(V_3 - V_1)}{kT_e}}} = 2$$

가 되어 식을 풀어 T_e 를 구할 수 있다. 만약 바이어스를 높은 전압으로 주어 $V_2 - V_1 \ll 0$ 가 되면 $T_e = -\frac{V_3 - V_1}{\ln 2}$ 으로 식을 간략하게 근사화 할 수 있다. 또한 이 경우에 Tip2로 들어오는 전류는 거의 대부분 이온에 의한 전류라고 볼 수 있으므로

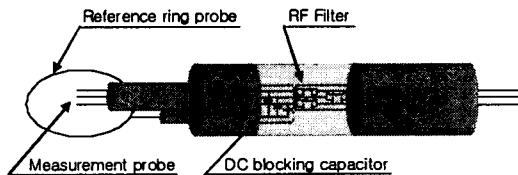
$I_2 \approx I_{2i} = 0.61en_i u_B A_{2 \rightarrow n_i} = \frac{1.64 I_{2i}}{eA_{2 \rightarrow n_i} \sqrt{\frac{kT_e}{M}}} = \frac{1.64 \frac{V_r}{R}}{eA_{2 \rightarrow n_i} \sqrt{\frac{kT_e}{M}}}$

에 의한 식으로 구할 수 있다.

실제로 이온포화전류가 일정한 것이 아니라 탐침에 인가되는 전압이 낮아짐에 따라 이온포화전류가 많이 흐르게 되므로 적당한 바이어스 전압을 거는 것이 적당하다. 이온포화전류가 많이 흐를수록 Tip1에 걸리는 전압 V_1 이 높아지게 되고 $T_e = -\frac{V_3 - V_1}{\ln 2}$ 의 식에 따라 바이어스 전압이 높아지면서 전자온도의 측정값이 같이 올라가는 현상이 나타나게 된다. 따라서 바이어스 전압을 바꿔가면서 실험을 하여 단일탐침의 결과값과 비교하여 적당한 인가전압을 찾아보았다.



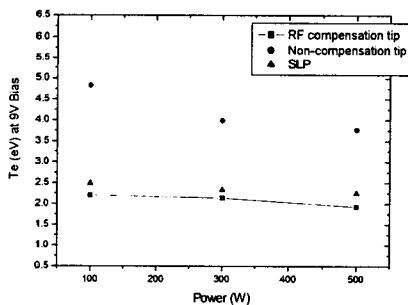
RF 플라즈마의 경우 플라즈마 전위값이 RF로 떨리게 된다. 그림에서와 같이 이 경우에는 평균된 I-V곡선의 기울기가 줄어들게 되어 실제보다 높은 전자온도를 측정하게 된다. 따라서 RF 교란을 보정하여 정확한 값을 측정하여야 한다. 이 실험에 사용된 회로의 기생축전용량은 950pF으로 실험에 사용된 전원의 주파수인 13.56MHz에서 12.56Ω의 임피던스를 가진다. 이렇게 회로가 전원주파수에서 낮은 값의 기생임피던스를 가지게 되면 많은 양의 RF전압이 쉬스에 걸리게 되어 정확한 측정을 방해하게 된다.



따라서 그림과 같이 RF초크필터를 넣은 RF 보상 탐침을 이용하여 측정을 하게 되면 더욱 정확한 값의 전자온도를 구할 수 있다. 실험에서는 13.56MHz에서 100kΩ 정도의 임피던스를 가지는 초크필터회로를 넣은 RF 보상 탐침을 사용하였다. RF떨림에 의한 Self-Bias의 정도를 확인하기 위하여 탐침에 걸리는 부유전위를 측정하였다.

2.2 실험결과.

실험을 위한 소스인 아르곤 유도 결합 플라즈마는 압력을 4mTorr, 전원과위를 100W~500W로 발생하였다. 일반적인 탐침에서는 6V의 부유전위가 측정되었으나 RF보상 탐침에서는 7.6V의 부유전위가 측정되어 플라즈마의 RF떨림 때문에 생기는 Self-Bias에 의한 전압강하가 확실히 줄어들었음을 알 수 있었다.



3. 결 론

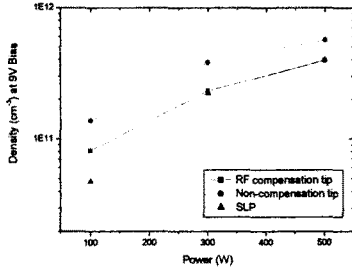
유도 결합 플라즈마에서 RF보상 삼중탐침을 이용하여 동일한 조건에서 단일 탐침과 일반적인 삼중 탐침과의 비교를 하였다. 단일 탐침과 마찬가지로 삼중탐침에서도 플라즈마의 RF필름 때문에 측정에 왜곡이 생김을 알 수 있었다. 일반적인 삼중탐침과 RF 보상 삼중탐침, 단일탐침의 실험값을 비교하여 보았다. RF 보상 삼중탐침에 경우 플라즈마의 RF교란을 제거하여 더욱 정확한 값을 구할 수 있음을 확인하였다. RF초크필터가 들어간 탐침의 부유전위를 측정함으로써 RF교란이 줄어들음을 확인할 수 있었다.

바이어스 전압에 따라 전자온도의 측정값이 증가함을 알 수 있었다.

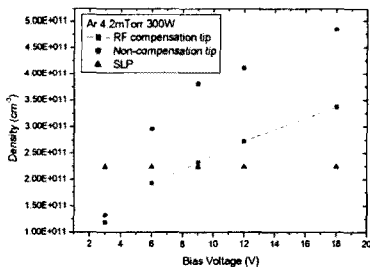
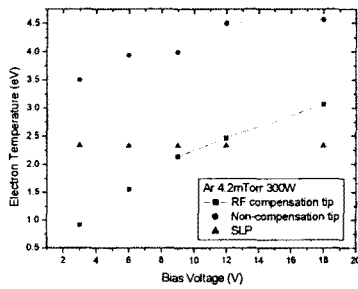
삼중탐침은 시간 분해능이 좋아 빠른 시간 안에 측정해야 하는 곳이 많이 쓰이고 있지만 정확성이 떨어지는 단점을 가지고 있었다. 그러나 RF보상을 하고 알맞은 바이어스를 걸어줌으로써 좀 더 정확한 측정을 할 수 있음을 알 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] Kungen Teii, "Diagnostics of the diamond depositing in ductively coupled plasma by electrostatic probes and optical emission spectroscopy", Journal of Vacuum Science & Technology A: Vacuum, Surfaces, and Films, Volume 17, Issue 1, pp. 138-143, January 1999
- [2] D. L. Tilley, A. D. Gallimore, A. J. Kelly, and R. G. John, "The adverse effect of perpendicular ion drift flow on cylindrical triple probe electron temperature measurements", Review of Scientific Instruments, Volume 65, Issue 3, pp. 678-681, March 1994



그림은 실제로 같은 조건에서 일반적인 삼중탐침과 RF보상 삼중탐침의 결과값을 비교한 그래프이다. 전자온도가 확실하게 줄어들어 단일탐침으로 측정된 전자온도에 더 가까운 값을 얻을 수 있다.



그림은 바이어스 전압의 변화에 따른 전자온도와 이온 밀도의 값의 변화를 나타낸 그래프이다. 바이어스 전압을 3V부터 18V까지 3V 단위로 높여가면서 측정하였다. 바이어스 전압에 상관없이 일반적인 삼중탐침에서는 전자온도가 단일탐침보다 높게 나타나는 것을 볼 수 있었다. RF보상 삼중 탐침의 경우에는 바이어스전압이 높아짐에 따라 전자온도가 높게 측정되는 것을 볼 수 있었다. 그래프를 보면 9V 바이어스를 걸어주었을 경우가 가장 전자온도와 밀도가 비슷하게 나타남을 알 수 있다.

삼중 탐침을 이용한 측정에서 중요하게 작용하는 것 중에 하나가 탐침간의 거리이다. 각각의 탐침의 거리가 너무 가깝게 되면 탐침들 간 간섭이 일어나 올바른 측정을 할 수가 없다. 그러나 너무 멀게 되면 각각의 탐침에서의 밀도가 서로 다르게 되기 때문에 정확한 측정을 할 수 없게 된다. 실제로 실험에서 탐침간의 거리를 1mm 정도로 가깝게 하여 측정을 하였을 경우 전자온도의 값이 5배가량 높게 측정되는 것을 볼 수 있었다. 그러나 2mm 이상으로 틈을 떨어뜨려 놓았을 경우 전자온도의 측정값은 단일탐침과 비슷한 값을 얻을 수 있었다.