

고주파 유도 결합 플라즈마의 자기장 측정에 관한 연구

(A Study on the Magnetic Fields Measurement of Radio-Frequency Induction Coupled Plasma)

하 장호*, 전 용우, 전 재일, 김 기재, 박 원주, 이 광식, 이 동인
영남대학교 전기전자공학부

요 약

고주파 유도결합 플라즈마(RFICP)에서 루우프법에 의해 자기장특성을 측정하였다. 자기장 측정은 플라즈마의 거시적 변화를 시간적으로 접근하여, 반도체 프로세스의 관건인 균일하고, 고집적인 분포를 얼마나 교란, 응집하는가를 검증하고, 밀도와와의 관계를 비교, 분석하여 방전의 최적화를 규명 할 수 있을 것이다. 작은 루우프 안테나 (ϕ :외경 7.5mm)는 RF 자기장의 크기와 방향을 결정하기 위해 방전속에 삽입된다. 자기장의 세기는 전형적으로 입력파워 50 - 500 [W]에 대해 0.1에서 2.5 G 사이로 변화하였다. 사용가스는 아르곤가스(99.9% 고순도)를 사용하였으며, 동작압력은 20 [mTorr] 에서 90 [mTorr]로 하였고, 아르곤 가스유량변화는 3 [sccm] 에서 15 [sccm]까지 하였다. 반경방향의 공간분포에서는 아스펙트비(aspect ratio : R/L)를 2로 하여 자기장 분포를 측정하였다. 자기장은 입력파워의존성에 대해서 200 [W]까지 상승하고, 300 [W]에서 안정성을 지속한다. 압력에 대한 의존성은 300 [W]에서 60 [mTorr]이상 일 때는 플라즈마의 균질한 압력상태를 벗어남을 보인다. 아르곤 가스유량에 대해서는 무거운 중성기체입자가 자기장의 영향을 거의 받지 않기 때문에 일정한 경향이 나타났다. 반경방향의 공간분포 측정에서는 자기장은 RFICP의 대구경 특성에 맞게 전체적으로 일정한 분포를 이루고 있음을 확인하였다. 이러한 결과로부터 고주파유도결합 플라즈마에서의 동작생성, 유지기구등의 파악에 도움이 될 것이다.

1. 서 론

최근, 반도체 산업에서의 플라즈마 프로세서의 이용이 점점 더 크게 되므로써, 웨이퍼의 미세화와 대면적화도 급속도로 진행되고있다. 그러므로, 저압력에서 보다 넓은 면적의 균등한 플라즈마를 생성할 수 있는 새로운 고효율 플라즈마원의 연구·개발이 필요하게 되었다.

고주파 유도 결합 플라즈마(RFICP)는 이러한 요구들을 잘 만족시킬 수 있는 플라즈마라고 알려져 있다^{[1]-[6]}. RFICP에 있어서 자기장은 프로세스 플라즈마에서 장을 교란하다가, 계속 에너지를 흡수하면서, 어느 일정값에서 강한 응집력을 보인다. 이것은 프로세스 플라즈마에서의 최대 관건인 균일하고, 고집적인 분포에 영향을 미친다. 그러므로, 자기장은 RFICP의 기본이 되는 파라메타로서,

매우 중요하다^{[6]-[7]}.

본 연구에서는 보다 명확한 자기장 특성을 이해하고자 자기 프로브를 직접 설계, 제작하고, 루우프법을 사용하여 RFICP의 자기장을 측정 하였다. 이는 플라즈마의 균일성과 밀도를 완벽하게 활용하기 위해 모델들을 개발하는 것에 유용하고, 방전의 최적화, 효율화 규명에 체계적 이해를 도모 할 수 있을 것이다.

2. 실험장치 및 측정방법

본 실험에 사용한 진공관은 길이 400 [mm], 직경 300 [mm]의 스테인레스 스틸로 설계·제작하였고, 프로브 측정법에 적당한 구조로 되어있다. 진공관 내부에는 박막 가공을 행할 때 시료를 고정하는 웨이퍼 홀더(wafer holder)가 있으며, 기관은 상하로 움직일 수 있도록 하였다. 그리고, 진공관 상부에는 안테나 코일을 설치하기 위하여 직경 280 [mm], 두께 25 [mm]의 원판형 석영창을 두었고, 고주파 전원을 공급받는 안테나 코일은 고주파 전원과 플라즈마를 전자기적으로 결합시키는 유도결합소자로서, 폭 20 [mm], 두께 0.5 [mm]의 동판을 외관상으로 20 [mm] 간격으로 5회 감은 코일을 사용하였다.

플라즈마 발생은 로터리 펌프와 터보분자 펌프를 사용하여, 진공관 내부를 1.0×10^{-6} [Torr] 까지 배기한 후, 유량조절기와 니들 밸브(needle valve)를 사용하여 일정 유량의 고순도 아르곤 가스(순도 99.999 [%])를 진공관 내로 유입한다. 그 후, 콘트롤 밸브(control valve)로써 진공관 내의 압력을 원하는 값($10^{-2} \sim 10^{-3}$ [Torr])에 일정하게 유지한다. 그리고, 고주파 전원을 매칭박스를 통해 안테나 코일에 인가하여 플라즈마를 발생시킨다. 이 때에 반사전력은 0 으로 되는 것을 확인하고, 반사가 있는 경우에도 입사전력의 5 [%] 이내가 되도록 매칭박스를 조정하였다.

그림 1은 측정에 있어서 사용되어진 세미리지드 케이블(Semirigid Cable)로 제작한 프로브를 나타낸다. 자기적 유도 프로브는 RF 자기장을 측정한다. 외관은 텅스텐을 사용 하였으며, 케이블 주위에는 절연판으로 절연하고, 프로브는 외경 7.5mm의 50 Ω 케이블 끝에 2회 루우프로 구성되어 있다. 프로브는 플라즈마내에서 반경 방향으로 이동이 되어 질 수 있도록 했다. 또, 방전속으로 프로브를 삽입 할 때, 전기장이 모든 곳에서 전송선에 수직으로 확실하게 되기 위해서 주의 하였다.

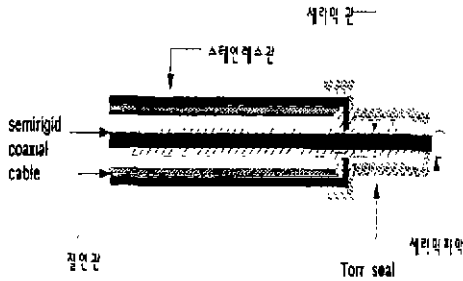


그림 1. 측정 프로브 개략도

그림 2는 입력전원에 의해 발생한 플라즈마내에 유기되는 교류전압($V_s = -d\Phi/dt$)을 측정하기 위한 회로도를 나타내며, Φ 는 루우프를 통하는 RF 자속이다.

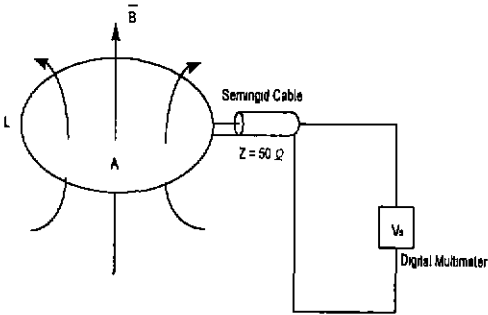


그림 2. 측정회로도

측정된 전압을 다음의 관계식에 의해 자기장으로 환산한다⁶⁾.

$$\bar{B} = \frac{V_s}{A\omega}$$

여기에서, V_s 는 플라즈마내에 50Ω 부하에서 측정된 유기전압이고, A 는 프로브의 단면적(44.2mm^2), ω 는 RF 주파수, \bar{B} 는 루우프내의 영역을 통과하는 평균된 자기장 크기이다.

3. 실험결과 및 고찰

자기장측정에서 공통된 실험조건으로, 입력파워 의존성과 동작압력 의존성, 반경방향 공간분포에 사용한 아스펙트 비(aspect ratio ; R/L)는 2, 그리고 아르곤 가스 유량은 5 [sccm]으로 일정하게 공급하였다.

입력파워 의존성에 따르는 자기장측정에 사용된 동작압력은 30 [mTorr]이고, 측정 위치는 플라즈마 중심부($r=0$)이다. 입력파워를 50 [W]에서 500 [W]까지 변화시켰을

때의 자기장의 측정결과를 그림 3에 나타내었다. 200[W]가 되는 점에서 플라즈마 상호교란에 의한 자기장 최대값을 간고, 입력파워가 그 이상 증가되면, 반대로 감소하는 경향을 보이다가 250[W]를 넘으면서 자기장은 안정된다. 이에 대한 원인 규명에 대해서는, 의론의 여지가 있다.

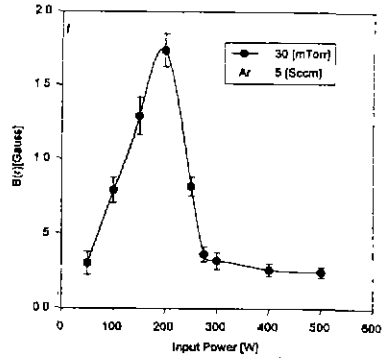


그림 3. 자기장의 입력파워 의존성

그림 4는 동작압력을 30 [mTorr]에서 90 [mTorr]의 범위로 변화시키면서, 플라즈마의 압력에 따르는 자기장 특성을 조사한 것이다. 측정의 위치는, 플라즈마 중심부($r=0$)로 하였고, 입력 파워는 300 [W]로 하였다. 압력이 30 [mTorr]에서 50 [mTorr]까지는 이상적인 자기장 상태이나, 50 [mTorr]를 넘어서게 되면서, 급격히 증가된 자기장을 볼 수 있다.

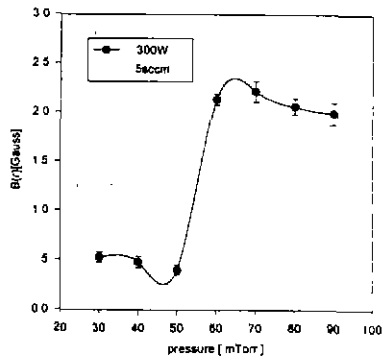


그림 4. 자기장의 압력 의존성

그림 5는 동작압력이 가장 안정한 압력이라고 생각되어진 30 [mTorr]에서 행하고, 입력파워는 각각 300 [W]에서 Ar가스 투입유량을 3 [Sccm]에서 15 [Sccm]까지 변화시킨다. 자기장이 거의 일정한 경향을 보인다.

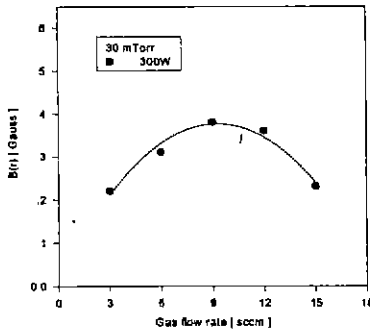


그림 5. 자기장의 가스유량 의존성

그림 6은 자기장의 반경방향 공간분포를 나타낸 것이다. 플라즈마내의 반경방향 공간분포의 자기장을 계속하기 위하여 챔버내에 프로브를 수평으로 삽입하여, 중심($r=0$)에서 8 [cm]까지 이동하면서 측정 하였다. 이 실험의 조건으로서 압력은 20 [mTorr], 입력파워는 각각 100 [W]에서 500 [W]까지 변화 하였다. 아르곤 가스유량은 5 [scm]으로 일정하게 공급하였다. 각 입력파워에 대한 자기장의 수평 분포는 거의 일정하게 분포되어 있음을 알 수 있었다. 이는 프로세싱에 영향이 주어 진다고 생각 되어 지는 자기장이 전 수평상 일정하게 분포되어 있으므로 상당히 안정된 플라즈마가 생성됨을 몇 볼 수 있다. 그리고, 각각의 입력파워 중에서 200[W] 일 때가 가장 높은 자기장을 생성하는 것은 입력파워 의존성에 대한 실험에서의 200[W]에서 피크치가 나타남과 무관치 않음을 볼 수 있다.

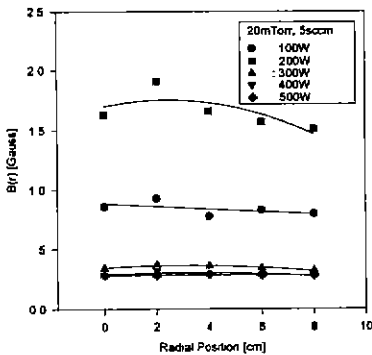


그림 6. 자기장의 반경방향 공간분포

4. 결 론

본 연구에서는, 직접 설계 제작된 고주파 유도결합 플라즈마내의 장치의 시간적으로 변화하는 플라즈마를 각각의 제어 파라메타인 입력파워, 압력, 유량, 반경방향 공간 분포 의존성에 따르는 자기장특성을 루우프법에 의해 측정 한 결과이다.

(1) 자기장의 입력파워에 대한 의존성은 200 [W]에서 플라즈마 상호교란에 의한 불안정성 때문에 자기장의 값이 가장 높고, 300 [W]에서는 플라즈마가 안정성을 찾기 시작하여 일정한 경향을 보인다.

(2) 자기장의 압력에 대한 의존성은 입력파워 300 [W]에서 압력 60 [mTorr] 이상에서는 플라즈마의 균질한 압력 조건에서 벗어나는 경향을 보인다.

(3) 자기장의 유량에 대한 의존성은 0.2~0.4 [Gauss]로 일정한 것으로 보아 플라즈마내의 무거운 중성기체입자가 거의 자기장의 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

(4) 자기장의 반경방향 공간분포 특성은 각각의 입력파워에 따라 그 값이 다를 뿐, RFICP의 대면적화 특성에 맞게 균일한 분포를 이루고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] "高周波 誘導結合 플라즈마 計測에 관한 研究" 「 嶺南 大學校 大學院 碩士學位 論文 」 (1997)
- [2] J. Hopwood, C. R. Guarnieri, S. J. Whitehair and J. J. Cuomo, "Langmuir probe measurements of a radio frequency induction plasma", J. Vac. Sci. Technol, A11(1), pp.152, (1993)
- [3] J. H. Keller, J. C. Foster and M. S. Barnes, "Novel radio-frequency induction plasma processing techniques", J. Vac. Sci. Technol, A11(5), pp.2487, (1993)
- [4] 菅井秀郎, "低壓力·高密度 プラズ마의 새로운 展開", 應用物理, 63권 6호, pp.559, (1994)
- [5] J. Amorim, H. S. Maciel and J. P. Sudano, "High-density plasma mode of an inductively coupled radio frequency discharge", J. Vac. Sci. Technol, B, 9(2), pp.362, (1991)
- [6] J. Hopwood, C. R. Guarnieri, S. J. Whitehair and J. J. Cuomo, "Electromagnetic fildes in radio-frequency induction plasma", J. Vac. Sci. Technol, A11(1), No pp.147 (1993)
- [7] M.M. Turner, "Collisionless Electron Heating in an Inductively Coupled Discharge" The American Phys, Soc, Vol 71, No 12, pp.1844, (1993)