

## 자화 플라즈마의 주기적 특성 변화와 E-ICP

### Periodic Variation of Magnetized Plasma for E-ICP

라상호, 박세근, 오범환  
(Sang-Ho Rha, Se-Geun Park, Beom-hoan O)

#### Abstract

It is important to control the plasma characteristics for high quality plasma process. Recently, a novel method proposed by us, named as 'Enhanced-ICP', using periodic weak time-varying axial magnetic field added to a normal ICP source, has improved etch characteristics much. Variation of plasma characteristics according to the frequency of time-varying axial magnetic field have been measured and analyzed.

**Key Word (중요용어) :** 유도 결합형 플라즈마, 전자온도, 전자밀도

#### 1. 서론

현재 반도체공정에서 대면적, 고밀도 플라즈마소스의 필요성이 증대됨에 따라, 플라즈마소스 개발에 관한 연구는 반도체 공정에서 매우 중요한 위치를 차지하게 되었다.[1] 전자 회전 공명을 이용하는 ECR 플라즈마, 헬리콘 또는 휘슬러파를 이용하는 헬리콘 플라즈마 느린파를 여기시키는 헬리칼 공진기, 유도결합형 플라즈마, 전자빔 여기 플라즈마등의 여러 가지 형태의 고밀도 플라즈마 소스들이 제안되어 식각 공정에 적용되거나 상용화되고 있다. 이러한 다양한 플라즈마 소스들 중에서 원통형 또는 평면형 코일에 수MHz 영역의 고주파 전원을 인가, 챔

버 내부의 기체방전으로부터 플라즈마를 얻는 유도 결합형 플라즈마(Inductively Coupled Plasma, ICP)는 수 mTorr 영역의 낮은 기체 압력에서도 높은 이온 밀도를 얻을 수 있을 뿐 아니라, 대면적화가 용이하고 장치의 구조가 간단한 장점을 지니고 있다. 하지만, 대형화 되면서 플라즈마의 전력 전달이 표피효과로 인하여 매우 짧은 영역에 제한적으로 전달되는 문제를 가지고 있으며, 플라즈마내의 전자온도 및 이온에너지의 능동적인 조절이 매우 어려운 단점을 가지고 있다.[2,3] 이러한 제반의 문제를 해결하기 위하여 페러데이 차폐의 사용, RF 안테나의 변형, 축방향 자기장의 인가등을 통하여 보다 우수한 성능의 플라즈마 소스 개발을 위한 연구가 이루어지고 있으며, 특히 플라즈마의 자화 특성에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 인가되는 RF 전력의 주파수와 축방향으로 인가되는 약 자기장(~20 gauss)에 의하여 플라즈마내에 유도되는 전기장은 기존의 ICP

---

\* 인하대학교 전자재료공학과  
(인천광역시 남구 용현동 인하대학교,  
Fax: 032-875-5882  
E-mail : imath@lycos.co.kr )

와 구별되는 전계 구조를 나타내게 되며[4], 본 연구진에서는 이러한 플라즈마의 자화 특성을 주기적으로 조절함으로써, 매우 우수한 플라즈마 특성을 나타내는 Enhanced Inductively Coupled Plasma (E-ICP)를 개발한바 있다.[5]

본 논문에서는 E-ICP의 자화 특성을 이해하기 위하여 플라즈마의 분산 특성을 이해하고, 자화 주기와 비자화 주기간의 플라즈마 특성의 변화를 Langmuir Probe를 이용하여 수행하였다.

## 2. 본론

기존의 ICP 챔버에 Helmholtz 코일을 설치하여 플라즈마가 발생하는 영역내에 균일한 자기장을 인가하였다. 상부 코일에는 직각파 형태의 AC 전류를 하부 코일에는 DC 전류를 인가하여 약 15 gauss의 축방향 자기장이 플라즈마에 인가되도록 설계하였다. 그림 1에 실험에 사용된 장치의 개략도 및 챔버내에 형성되는 자기장의 크기를 보여주고 있다. DC 전류와 AC 전류가 같은 방향으로 인가되는 경우를 On State로 정의 하였으며, DC 전류와 AC 전류가 반대 방향으로 인가되는 경우를 Off State로 정의 하였다. 13.56MHz를 사용하는 ICP의 경우 플라즈마의 표피

효과로 인하여 3cm 이내의 매우 짧은 투과 깊이를 가지고 있다. 그러나 플라즈마에 축방향 자기장이 인가되면, 우원 편광파와 좌원 편광파 두 개의 RF-에너지 투과모드가 형성되며, 약 15 gauss의 자기장이 인가되면 플라즈마는 RF전력을 효율적으로 흡수할 수 있는 투과 깊이를 갖게 된다. 아래 그림에서 보여지는 바와 같이, On State의 경우 약 15 gauss의 축방향 자기장이 플라즈마가 생성되는 영역에 균일하게 인가되는 것을 볼 수 있으며, Off State의 경우 플라즈마가 생성되는 영역에 자기장이 거의 인가되지 않는다. 이와 같이 플라즈마내에 형성된 두 종류의 자기장 특성은 E-ICP내에 두 종류의 플라즈마의 상태를 형성, 인가되는 AC전류의 주파수에 따라 주기적으로 변화하게 되며, 축방향 자기장의 시변 변화를 펄스 파형의 형태로 변화시킴으로서 RF 에너지의 흡수 특성을 주기적으로 변화시켜주게 된다. 이를 통하여 플라즈마의 에너지 흡수 특성의 변화를 야기시켜 플라즈마내의 이온 및 전자의 에너지 조절을 가능케 한다. E-ICP 주파수가 플라즈마에 미치는 영향을 확인하기 위하여 Langmuir Probe를 이용하여 플라즈마 특성의 진단 실험을 수행하였다. 20 mTorr의 압력하에서 600W의 RF 전력을 인가하였으며, O<sub>2</sub> 기체를 사용하였다. 플라즈마의 진단은 Hiden사의 model ESP 4.12 Langmuir probe를 사용하였다.

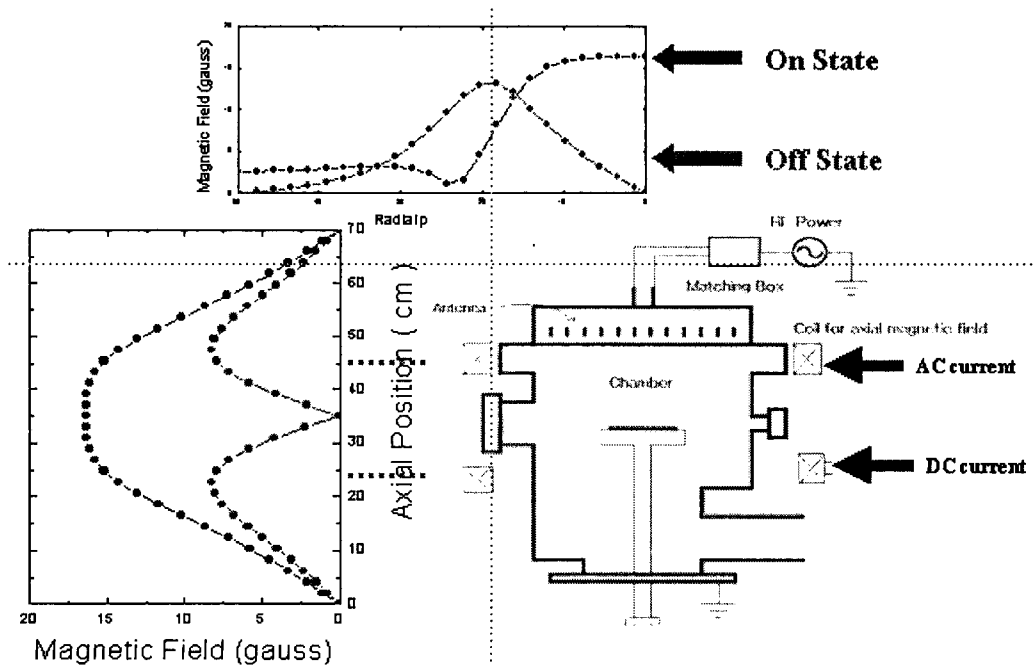


그림 1 E-ICP의 장치 개략도 및 챔버내의 자기장의 형성 구조

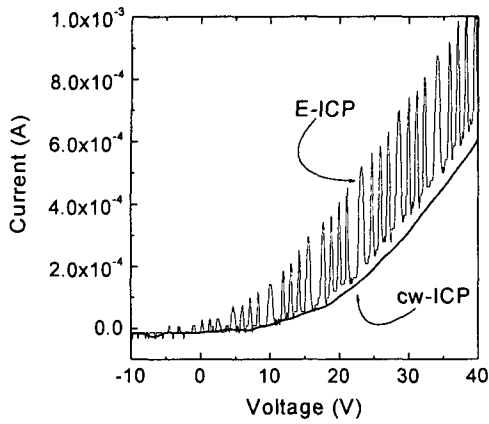


그림 2 E-ICP에서 측정된 I-V Curve

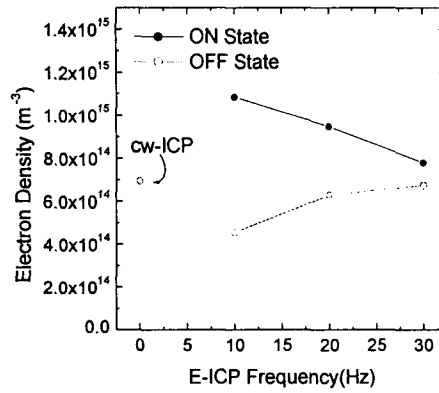


그림 4 E-ICP 주파수 변화에 따른 자화 주기와 비자화 주기간의 전자밀도 변화

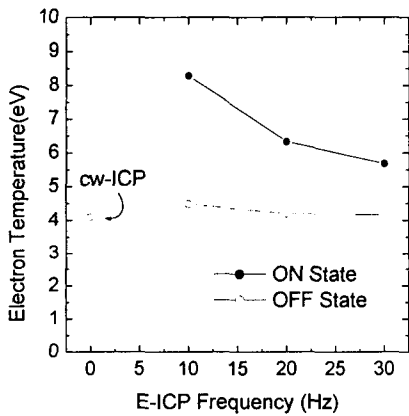


그림 3 E-ICP 주파수 변화에 따른 자화 주기와 비자화 주기간의 전자온도 변화

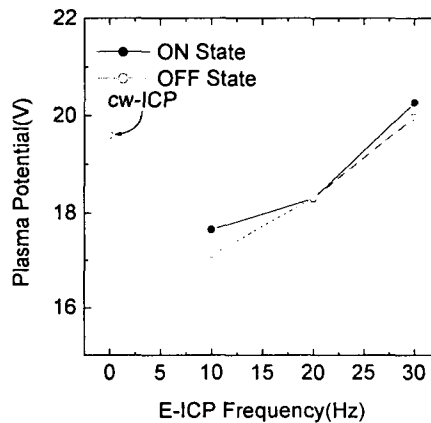


그림 5 E-ICP 주파수 변화에 따른 자화 주기와 비자화 주기간의 플라즈마 전위 변화

그림 2, 그림 3, 그림 4, 그림 5는 E-ICP 주파수 변화에 따른 전자온도, 전자 밀도 및 플라즈마 전위 변화를 보여주고 있다. cw-ICP는 일반적인 ICP 장비를 나타내고 있으며, 자화 주기와 비자화 주기간의 플라즈마 특성 변화를 Langmuir Probe를 이용하여 진단하였다. 이는 3msec 정도의 안정화 시간을 허락하는 상태로 I-V 곡선을 얻고, 이 진동하는 특성 곡선에서의 envelope 분석 자화 주기동안의 극대 I-V 곡선과 자화 주기동안의 극소 I-V 곡선을 통해 변화를 확인하였다. 자화 주기의 경우 전자의 온도

및 전자의 밀도가 cw-ICP 보다 높은 값을 나타내고 있으나, Off-State의 전자 밀도 및 전자 온도가 cw-ICP와 유사한 값을 나타내고 있다. 이는 E-ICP가 자화 상태와 비자화 상태가 번갈아 나타내도록 되어 있으며 이들이 서로 다른 플라즈마 특성을 나타냄으로서 야기되는 현상으로 사료된다. E-ICP 주파수가 증가함에 따라 On-State의 전자 온도와 전자 밀도가 감소하는 경향을 볼 수 있었으며, 플라즈마 전위는 증가하는 경향을 볼 수 있었다.

## 참고 문헌

- [1] Oleg A. Popov "High density plasma source", ch. 1, 2, Noyes publication.
- [2] M. V. Malyshev and V. M. Donnelly, "Ultrahigh frequency versus inductively coupled chlorine plasmas: Comparisons of Cl and Cl<sub>2</sub> concentrations and electron temperatures measured by trace rare gases optical emission spectroscopy", J. Appl. Phys. Vol. 84, No. 3, pp 1222~1230, 1998
- [3] Haruo Shindo, Takuya Urayama, Takashi Fum, Yasuhiro Horike and Syuitsu Fujii, "Electron Energy Control in Inductively Coupled Plasma Employing Multimode Antenna", Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38, pp. L1066~L1069, 1999
- [4] Ho-Jun Lee, Heung-Sik Tae, Youn Taeg Kim, and Ki-Woong Whang "Electric Field in Magnetized Inductively Coupled Plasma" IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE. Vol. 27, No. 1, pp 52~53 February 1999
- [5] Beom-hoan O, Jae-Seong Jeong, and Se-Geun Park, "Improvement of ICP Plasma with Periodic Control of Axial Magnetic Field", Surface & Coating Technology, pp 752~756, November. 1999
- [6] Michael A. Liebermann, Allan J. Lichtenberg, "Principles of Plasma Discharges and Material Processing", A Wiley-Interscience Publication, 1994
- [7] Ajit P. Paranjpe, James P. Mc Vittie, Sidney A. Self, "A tuned Langmuir Probe for measurements in rf glow discharges", J. Appl. Phys. 67(11), pp 6718~6727, 1990

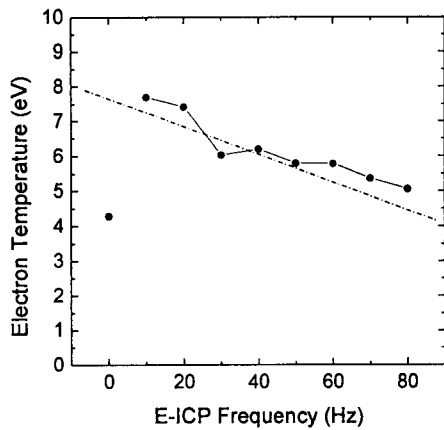


그림 6 E-ICP 주파수 변화에 따른 탐침 시간 평균된 전자 온도의 변화

그림 6은 자화주기와 비자화주기의 플라즈마 상태가 시간 평균화 되어 측정된 전자온도를 보여주고 있다. E-ICP 주파수 변화에 따른 전자 온도의 변화가 자화 주기의 전자온도 변화와 유사한 경향을 보여주고 있다. 이는 자화 주기와 비자화 주기간에 전자 밀도의 크기가 많은 차이를 보이기 때문에, 전자 밀도가 높은 자화 주기의 전자 온도 특성이 주로 측정되기 때문에 나타나는 양상으로 사료되고 있다.

### 3. 결론

E-ICP의 자화 주파수 변화에 따른 플라즈마의 특성 변화를 Langmuir Probe를 이용하여 측정하였다. 자화 주기와 비자화 주기간의 플라즈마 특성의 차이를 얻어 낼 수 있었으며, 주기적인 플라즈마의 특성 변화 양상을 볼 수 있었다. E-ICP의 경우 자화 주기와 비자화 주기간의 모드 천이로 인한 플라즈마의 특성이 E-ICP주파수에 따라 변화하는 것을 관찰할 수 있었으며, 플라즈마의 특성을 능동적으로 조절할 수 있음을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 반도체 연구조합의 시스템 IC 2010연구 사업과 교육부의 두뇌한국 21 연구 사업의 지원으로 수행되었습니다.