

직병렬 유도결합형 안테나를 이용한 대면적 플라즈마 소스 연구

김봉주, 이승걸, 오범환, 이일항, 박세근
인하대학교 정보통신공학부
전화 : 032-860-7768 / 핸드폰 : 011-841-6887

Large Area Plasma Source with Series-Parallel Shaped ICP Antenna

Bong-Joo Kim, Seung-Gol Lee, Beom-Hoan O, El-Hang Lee, Se-Geun Park
Department of Information & Communication Engineering, Inha University
E-mail : kbj002@orgio.net

Abstract

A large area inductively coupled plasma which is applicable to LCD processing is built with a modified single loop RF antenna. Combination of parallel and series paths of RF current through the antenna induces local enhancement of plasma density, which in turn provides uniform plasma density near the substrate. The plasma density distribution is measured and compared with that of the conventional single loop antenna. Anisotropic etching of photoresist is performed, and it is found that etch uniformity is improved by 3% from 15 % of the conventional etcher over 350x300 mm glass substrates. Photoresist etching rate and uniformity can be further improved by applying a periodic weak axial magnetic field.

I. 서론

평판디스플레이이나 반도체 제조공정에서 식각이나 증착공정에 응용되는 비평형 저온플라즈마는 유리나 반도체 기판의 크기가 최근에 커짐에 따라 플라즈마소스

의 대면적화가 중요한 문제로 부각되어 왔다. 균일하고 빠른 식각율이나 증착율, 그리고 저손상 특성을 확보하면서 대면적화하는 것은 매우 중요하다. 지금까지 대면적 소스 개발[2,3]을 위해 많은 노력이 행해졌고 그 가운데 비교적 장치의 구조가 간단하고 높은 식각율과 균일한 plasma를 생성할 수 있는 ICP 식각장비의 연구가 활발히 진행되어 오고 있으나 ICP의 대형화에는 몇 가지 문제점이 있다. 그 중 대표적인 것이 안테나의 크기가 커짐에 따라 직렬 저항이 증가하여 오음손실로 인한 power손실이 크다는 점과, 전압강하에 의하여 안테나 양단간에 발생하는 전위차로 플라즈마의 밀도가 불균일해진다. 이런 문제를 해결하기 위해 대면적화된 병렬연결 형태의 안테나에 대한 연구가 최근 많이 진행되고 있다.[1,4]

본 논문에서는 대면적에 걸쳐 균일한 플라즈마를 형성하기 위해 새로운 형태의 직병렬 안테나를 고안하였으며, 그 특성을 평가하였다. 그리고 단순형 안테나에 적용하여 그 효과를 확인 하였고, 저주파의 수직방향 자장을 추가한 Enhanced-ICP기술을 이 직병렬 안테나에 적용하였다. 균일도 변화를 관찰하기 위해 공정조건에 따른 ion density를 측정하였으며 PR 식각을 통해 성능을 검증하였다.

II. 실험 및 측정

그림 1은 사용된 플라즈마 식각 장비의 개략도이다. 반응기는 RIE type의 LCD etcher(일본 PSC사의 DES-A325E model)의 상부를 개조하여 유도 결합형 플라즈마 소스를 제작하였다.

반응기의 상부와 하부에 Helmholtz 코일을 형성하고 하부코일에는 직류를 인가하고, 상부코일에는 교류 인가하며 이 때 인가되는 직류 및 교류 전류의 크기는 4A로 일정하게 유지하고 이를 통해 축 방향으로 약한 전기장을 인가하게 된다. 이와 같은 직류와 교류를 조합하는 방식은 전자파의 투과깊이를 훨씬 깊게 하고 플라즈마 밀도를 증가시켜 높은 식각률을 얻을 수 있고 전자 온도를 낮추고 아울러 균일도도 개선 시킬 수 있는 효과가 있음을 발표한 바 있다.[6]

photo resist 식각 실험에서는 식각가스로 O₂가스를 사용하였고, 식각률은 Nanospec을 이용하여 측정하였다.

반응기의 외부 크기는 620mm×620mm×170mm이며 식각 가능한 substrate는 350mm×300mm이다.

유전체창의 두께는 20mm이며 크기는 450mm×450mm이다.

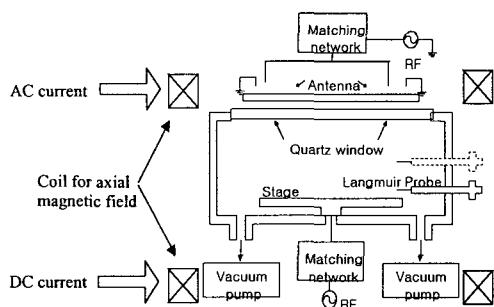


그림 1. 플라즈마 식각 장비의 개략도

그림 2는 안테나 구조와 langmuir probe로 진단한 방향과 photo resist 식각시 측정 방향을 나타내었다. 안테나는 외경이 9.5mm인 구리 동관을 사용했고 340mm×340mm의 크기로 좌우 대칭적인 구조를 하고 있으며 안테나에 인가된 출력 주파수는 13.56MHz를 사용하였다.

X축 방향으로 플라즈마의 밀도를 측정하기 위해 langmuir probe(Hiden-ESP)를 Z=1과 Z=8에서 2.5(cm)씩 삽입시키며 측정하였다.

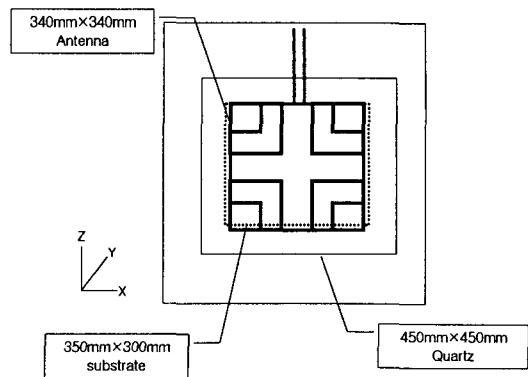


그림 2. 안테나 구조 및 langmuir probe 측정 방향 및 식각률 측정 방향

III. 실험결과 및 분석

그림 3은 source power에 따른 ion density의 변화를 나타낸 것이다.

공정압력은 20mTorr하였으며, 공정 기체 Ar(150sccm)을 사용하였다. 전체적인 균일도를 측정하기 위해 안테나의 X축을 따라 2.5cm 간격으로 측정하였으며 높이에 따른 분포를 고려하기 위해 기판 위 1cm(z=1)과 8cm(z=8) 떨어진 곳에서 측정 비교하였다.

Source Power를 400W~800W로 변화시켜 가면서 측정하였으며, 400W는 substrate 범위(350mm×300mm) 내에서 비교적 균일한(<9%) 분포를 보이고 있으나 power가 높을수록 density는 높아지나 균일도가 나빠지는 경향을 보였다. 그림 3(d)는 안테나 부근(Z=8)에서 X=17cm위치에서 ion density를 측정한 결과이다. 800W 미만에서는 균일한 분포를 보여주고 있으나, 800W에서는 안테나의 중앙부에서 ion density가 떨어지는 경향을 보이고 있다.

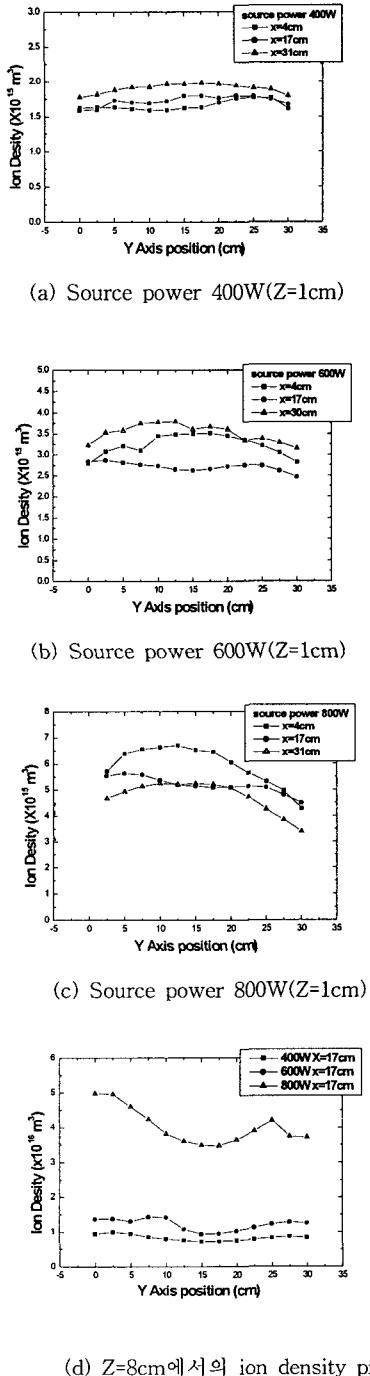


그림 3. Source power에 변화에 의한 ion density profiles(Process condition : P=20mTorr, Ar Gas rate=150sccm)

그림4는 동일한 조건 하(source power 800W, Bias power 250W, Oxygen gas 100sccm)에서 ICP와 E-ICP의 PR etch rate를 나타내었다. silicon wafer 위에 photo resist(AZ1512)를 도포 후 chamber pressure 20mTorr 하에서 축 방향 자기장을 인가하지 않은 통상의 ICP의 경우와 축 방향으로 자기장을 인가한 경우(E-ICP)에 대하여 PR 식각률을 비교하였다. E-ICP는 상부 코일에는 4A 40Hz의 교류를 하부 코일에는 4A의 직류를 인가하였다. 측정 결과 그림4-(a)에서 보인 경향과 같은 안테나 중심부에서의 etch rate이 다소 떨어지는 경향을 보이며 전체적으로는 통상적인 ICP에서 보다 E-ICP에서 국부적으로 높은 식각률을 보이며 전체적인 uniformity도 개선되었다. 이는 축 방향으로 약한 자장을 인가함으로써 skin depth가 증대되어 RF 에너지가 축 방향으로 깊숙이 침투하기 때문이며, 이러한 현상으로 이온화 에너지와 해리률이 증가되어 저압에서 높은 PR etching이 가능할 정도의 이온과 라디칼을 형성한다. 또 외부 자기장의 주기적인 변화에 의해 noncollisional 에너지 전달 효과를 향상시키고 공간 분포 확산을 도와 이온 분포를 고르게 하는 결과를 얻을 수 있었다.[5]

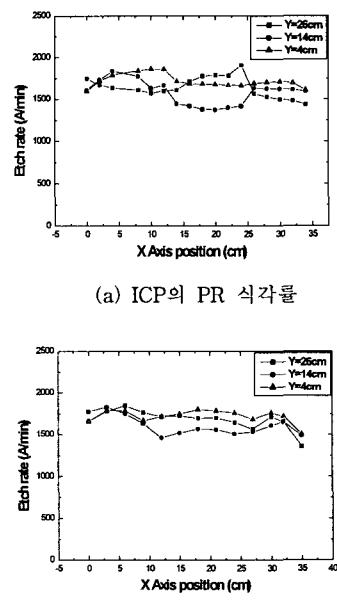


그림 4. ICP와 E-ICP에서의 PR식각률과 균일도 (Source power 800W, Bias power 250W, O₂ gas 100sccm, E-ICP Freq : 40Hz)

V. 결론

새로운 병렬 안테나를 이용하여 ion density 분포를 조사하였다. 병렬 안테나는 대면적에서 기존의 spiral 안테나 보다 많은 이점이 있는데 그중에서도 인덕턴스가 낮아져 낮은 전압을 가지고 폴라즈마를 형성시켜 capacitive field가 줄어드는 장점을 가지고 있다. 이번에 실험한 병렬 안테나를 이용하게 넓은 면적을 PR etching한 결과 축 방향을 따라 측정된 uniformity가 15%정도의 균일도를 나타내었으며 여기에 ICP 챔버에 인가되는 축방향자기장을 인가하는 E-ICP 기술을 적용한 결과 식각률의 향상뿐 아니라 식각 균일도를 통상적인 ICP보다 향상된 12%의 결과를 얻을 수 있었다.

[6] 정재성, 김철식, 김철호, 박세근, 오범환, “축방향 자기장의 주기적 단속을 이용한 유도 결합형 폴라즈마 식각장비의 고품위 폴라즈마형성,” 전자공학회지, Vol. 21, No. 2, 1998, pp. 585~593

References

- [1] Geun-Hee Bai, Sang-Hun Seo and Hong-Young Chang, "Study on the Uniformity of Plasma Density at TCP Using Parallel antennas," Journal of the Korean Vacuum Society, Vol. 7, No. 3, August, 1998, pp. 273~276.
- [2] Sung-Sik Kim, Hong-Young Chang, and Choong- Suk Chang, "Antenna configuration or uniformity large-area inductively coupled plasma production," Applied Physics Letters, Vol .77, No. 4, 2000, pp. 492~494.
- [3] Seiji Samukawa, Yukito Nakagawa, Tsutomu Tsukada, Hiroyuki Ueyama, and Kibatsu Shinohara, "Low-temperature, uniform, and high-density plasma produced by a new ultra-high-frequency discharge with a spokewise antenna," Applied Physics Letters, Vol. 67(10), pp. 1414~1416.
- [4] Marwan H Khater and Lawrence J Overzet, "A new inductively coupled plasma source design with improved azimuthal symmetry control," Plasma Sources Science and Technology, 9(2000), pp. 545~561.
- [5] Beom-hoan O, Jae-seong Jeong , Se-Geun Park, "Improvement of ICP plasma with periodic control of axial magnetic field," Surface and Coatings Technology, 120-121.(1999), pp. 752-756