

RF 정합 특성 개선을 위한 챔버의 임피던스 측정법

설용태[†] · 이의용* · 박성진*

[†]*호서대학교 전기정보통신 제어공학부

Measurement Technology of Chamber Impedance for RF Matching

Sul Yong Tai[†], Lee Eui Yong*, and Park Sung Jin*

[†]*Dept. of Electrical & Communication Eng. Of Hoseo University

ABSTRACT

An adaptor is designed for chamber impedance measurement of plasma process. Copper rod, fixed board and compensation circuit are the major components of the adaptor. An adaptor can be to measure chamber impedance on time unless stopping a process and Data to measure can do the database. We can use it to a criteria data for a failure diagnosis. So developed adaptor could be used for diagnosis the plasma process chamber in semiconductor industry.

Key Words : Adaptor, Plasma, Impedance

1. 서 론

본 연구에서는 반도체 제조공정에서 RF 플라즈마를 사용하는 공정 장비의 RF 정합특성 개선을 위해서 adaptor를 이용하여 챔버의 임피던스를 정밀하게 측정하는 기법을 제안하였다. 플라즈마 챔버의 임피던스 측정을 위해서 RF 정합회로망과 플라즈마 챔버사이를 연결하는 adaptor를 설계 및 제작하였으며, 보상회로를 추가하였다. 기존의 V/I probe 등과 연계한 종합적인 챔버 임피던스 측정 분석 시스템을 구성하여 반도체 공정의 양산장비를 대상으로 RF 특성을 측정하였다.

2. Adaptor의 설계 제작

2.1. 기구설계

개발된 adaptor는 Fig. 1과 같이 본체, 고정판, 도전성 클립 및 동축선 등으로 구성된다.

2.1.1. 본체

본체는 알루미늄 재질의 직육면체로 이루어진다. 본체의 측면에는 제 1 동축선과 제 2 동축선이 관통하는

홀이 형성되고 상부에는 RF match를 고정하기 위한 여러 개의 나사홈이 있다. 하부에는 고정판의 고정 및 이동이 가능하도록 긴 타원형의 볼트홀과 도전성 클립이 고정되는 클립 홀로 구성된다.

2.1.2. 고정판

고정판은 절연내력이 우수한 테프론 재질과 기계적 강도가 높은 알루미늄 재질로 하였으며 본체 하부에 볼트로 견고하게 고정 되도록 하였고, RF match의 종류에 따라 그 위치를 이동할 수 있도록 X축과 Y축으로 제작하였다. 고정판의 상부에 부착된 도전성 금속봉은

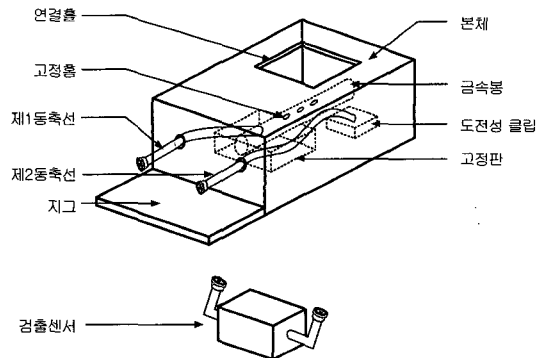


Fig. 1. Adaptor of impedance measurement for plasma chamber.

[†]E-mail : ytsul@office.hoseo.ac.kr

RF match의 접속클립과 결합되어 접촉면적을 극대화시켰다. 신호의 전달효율을 높일 수 있도록 동체질의 원형바 형태로 구성하여 RF match의 클립과 직각으로 결합, 여러 종류의 RF match와 결합이 가능하도록 길이방향으로 고정홈을 설치하였다. 또한, RF match의 클립의 형상에 따라서 도전성 금속봉의 형상도 변할 수 있도록 하였다. 클립 고정판은 도전성 클립을 본체 하부에 고정시키기 위해 테프론으로 구성하여 고전력으로 인한 아크 발생을 방지하여 내구성을 향상 시켰다.

2.1.3. 도전성 클립

도전성 클립은 본체 내부의 하부를 관통하며 고정판과 일정간격을 이격시켜 클립 고정판에 의해 고정되며, 플라즈마 챔버의 금속봉과 결합된다. 또한 도전성 클립은 신호의 손실을 줄이기 위해 은으로 도금하였으며, 도전성 클립과 챔버의 금속봉의 결합은 수직이 되도록 하였다. 결속을 위한 연결홀은 본체의 내부 상단에 도전성 금속봉과 대응하여 제작하여 match의 클립이 도전성 금속봉과 결합될 수 있도록 형성하였다.

2.1.4. 동축선

제 1 동축선은 도전성 금속봉에 결합되어 측정기에 RF 전력을 인가하는데 사용되며, 말단에는 N-type의 RF connector가 접속된다. 선로의 손실을 방지 하고 측정의 안정성을 확보하기 위해 제 1 동축선은 도전성 금속봉에 알루미늄 나사로 견고히 고정한 후 납땜되고 본체 내부의 V/I probe를 통해 제 2 동축선과 연결된다. 제 2 동축선은 도전성 클립에 결합되어 측정기로부터 출력되는 신호를 도전성 클립을 통해 플라즈마 챔버의 금속봉으로 전달하는 역할을 하며, 말단은 N-type의 RF connector로 이루어진다. 선로의 손실을 방지하고 측정의 안정성을 확보하기 위해 제 2 동축선은 도전성 클립에 알루미늄 나사로 견고히 고정한 후 납땜되고 V/I probe를 통해 제 1 동축선과 연결된다. 설

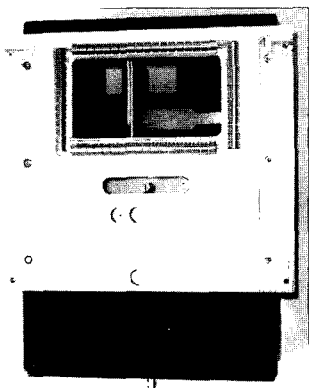


Fig. 2. Picture of adaptor.

계된 어댑터의 구성은 Fig. 2와 같다.

2.2. 임피던스 보상회로

플라즈마 임피던스 챔버 및 RF matching network장비는 적용되는 장비와 제조 회사별로 그 형태 및 사용 전력의 크기가 매우 다양하다. 현재 제작된 adaptor는 1000[pF]의 가변 커패시터를 사용해 adaptor의 임피던스 값을 보상하였지만, 상품화를 위해서는 저가의 세라믹 커패시터를 병렬로 연결한 보상법이 필수적이다.

RF match와 플라즈마 챔버 사이에 삽입되는 adaptor 내의 선로길이는 수 십[cm] 정도이지만, 고주파 전원이 인가되고 선로의 접속부위에서 발생하는 접촉저항 등으로 인해 선로의 임피던스는 식 (1)과 (2)로 나타낼 수 있다[1][3].

$$Z_0 = R + j(X_L - X_C) \quad (1)$$

$$X_L = \omega L, X_C = \frac{1}{\omega C} \text{ 이기 때문에}$$

$$|Z_0| = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (2)$$

여기서,

R : 선로의 저항

X_L : 선로의 유도성 임피던스

X_C : 선로의 용량성 임피던스

L : 선로의 인덕턴스

C : 선로의 커패시턴스

ω : 주파수 (2πf)

13.56[MHz]의 RF 전원의 사용으로 인해 adaptor 전체 임피던스 중 특히 인덕턴스 성분의 크기는 matching network의 성능에 직접적인 영향을 미치게 된다. 이는 결과적으로 플라즈마 챔버의 정확한 임피던스 값의 측정을 어렵게 하는 요인으로써 작용하기 때문에 이에 대한 대책이 반드시 고려되어야 한다.

Adaptor의 임피던스가 matching network의 동작에 영향을 주지 않도록 감소시키기 위해서는 식 (3)와 같이 adaptor의 인덕턴스 성분의 크기에 상응 하는 커패시터를 접지측과 결합시켜 전체 임피던스 중 허수부의 크기를 0으로 함으로써 가능해 진다.

즉, 공진조건인 식 (3)로부터 식(4)를 얻을 수 있다.

$$X_L - X_C = 0 \quad (3)$$

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}$$

$$\therefore C = \frac{1}{\omega^2 L} \quad (4)$$

Fig. 3은 이러한 임피던스 보상을 위한 단선도를 나

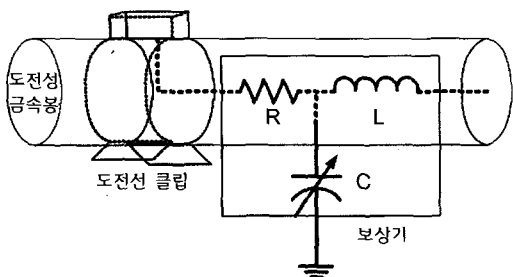


Fig. 3. Diagram of impedance compensation circuit.

타낸다.

3. 챔버 임피던스 측정 시스템

Adaptor를 이용한 새로운 플라즈마 챔버 임피던스 측정 시스템의 구성도 및 흐름도를 Fig. 4와 Fig. 5에 각각 나타내었다. Fig. 4의 측정 시스템은 공정 중에 형성되는 챔버의 임피던스를 측정하기 위하여 플라즈마 챔버와 RF match사이에서 위치하여 adaptor와 결합되도록 구성되었다. adaptor는 RF match와 전기적으로

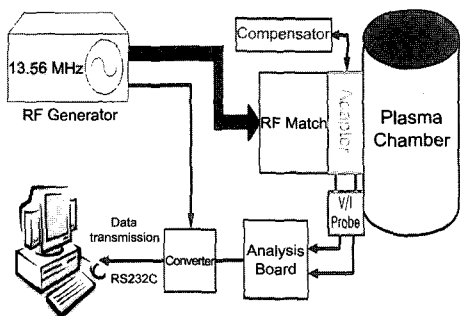


Fig. 4. Block diagram of measurement system.

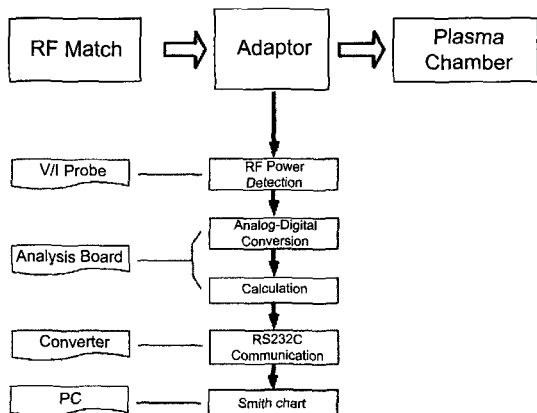


Fig. 5. Flow chart of measurement system.

접속되는 도전성 금속체, 임피던스 보상회로, 신호인출을 위한 connector와 본체로 구성된다. Adaptor에서 인출된 선로는 검출장치를 통과해 플라즈마 챔버와 접속된다. 측정장치에서 검출된 아날로그 신호는 analysis board내에 내장된 micro-processor의 연산처리를 통해 실시간 디지털신호로 변환되어 RS232C 통신용 컨버터로 전송된다. 컨버터를 통해 변환된 신호는 개인용 컴퓨터의 프로그램을 통해 최종적으로 스미스 차트로 구현되어 측정값을 확인할 수 있도록 하였다.

Fig. 4와 같은 측정시스템을 이용한 플라즈마 챔버 임피던스 측정시스템의 흐름도는 Fig. 5와 같다

4. 측정 결과 분석

4.1. DDL(Dynamic Dummy Load) test

개발된 adaptor의 테스트를 위해 RF Match 제작사에서 제공하는 Match test Spec.을 기준으로 가상의 챔버 특성 시스템을 구성하였고, Agilent사의 Network Analyzer 4395A와 개발된 adaptor를 이용하여 임피던스를 측정하였다. 측정된 결과는 제공사 Match test Spec.과의 동일함을 Table 1과 같이 증명할 수 있었다.

1) Network/Spectrum Analyzer

- 제작사 : Agilent
- 모델명 : 4395A
- spec. : 10 Hz~500 MHz, +/-0.05 dB/+/-0.3deg dynamic magnitude/phase accuracy

2) V/I probe

- 제작사 : ENI (사)
- size : 64×75×38 mm
- 용도 : 부하의 V, I 측정 및 Phase 측정
- 범위 : 1~60 MHz, 750 Vrms, 15 Arms (working condition)

Table 1. Impedance of DDL attached adaptor.

Test point	Mag.	Angle	R	J
A1	26.00	-82.80	3.258665	-25.7951
A2	29.30	-84.00	3.062685	-29.1396
A3	28.00	-84.90	2.489040	-27.8892
A4	30.20	-86.10	2.054061	-30.1302
A5	53.40	-84.00	5.581820	-53.1076
A6	57.50	-84.60	5.411228	-57.2449
A7	63.20	-85.90	4.518639	-63.0384
A8	70.70	-86.50	4.316132	-70.5682

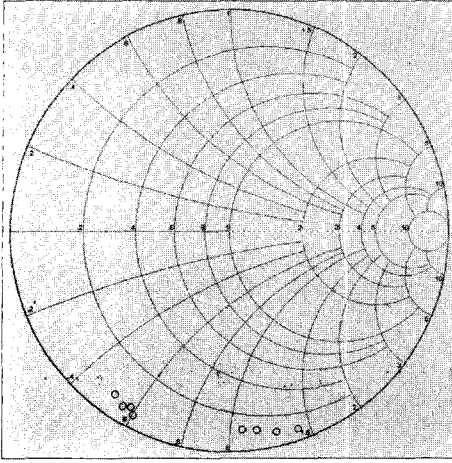


Fig. 6. Smith chart of DDL impedance attached the adaptor.

4.2. α -test 결과분석

개발 제품의 효용성 평가를 위하여 호서대학교 RRC (지역협력연구센터)인 반도체 제조장비 국산화 연구센터의 청정실에 보유중인 P-5000 시스템을 이용하여 실제 양산라인의 공정조건을 재현하여 실험실차원의 α -test를 Fig. 7과 같이 실시하였다[5].



Fig. 7. Precision 5000 system.

α -Test에 이용된 P-5000 시스템의 주요 spec.은 다음과 같다.

- 제작사 : 미국 Applied Materials사
- 모델명 : SACVD Mark II
- Wafer size : 8" 양산용
- type : 3 chamber cluster tool type
- 용도 : CVD, Etcher
- Base Pressure: 1×10^{-3} torr
- Process pressure : 100 mtorr

또한 plasma chamber와 RF 장치와의 주요 spec.은

아래와 같다.

1. Plasma chamber

- 공정 : MERIE공정(Poly-Si, Metal 등을 식각)
- PECVD공정(SiO_2 , SiN_3 , W등 증착)

- Chamber 모델 : MXP
- Wafer size : 8" 양산용

2. RF 장치

(1) RF power

- 제작사 : ENI (사)
- 용 량 : 3[kw]
- 주파수 : 13.56[MHz]

(2) RF Matcher

- 제작사 : Applied Materials
- 용 량 : 3[kW]
- 주파수 : 13.56[MHz]

상기의 test시스템을 이용하여 아래의 조건에 대해서 결과를 분석하였다.

1. RF power : 350 W, Auto
2. Pressure : 50 mTorr
3. Gas : N_2 , Ar
4. DC Bias limit : -1000 to 0 [V]

개발된 Adaptor와 측정 시스템을 이용하여 P-5000의 챔버 임피던스가 매칭되는 과정을 Fig. 8과 같이 스미스 차트로 구현하였다.

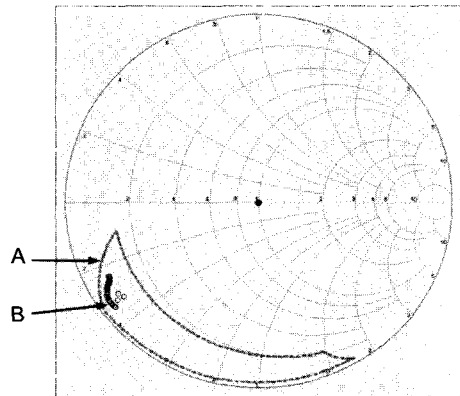


Fig. 8. Smith chart of P-5000.

Fig. 8에서 스미스차트 중앙부는 임피던스 매칭을 위한 특성 임피던스 $50[\Omega]$ 을 나타내며 A는 DDL을 통한 가상 챔버의 임피던스 영역으로, 이는 가상 실험에서의 임피던스 형성과 실제 프로세스 포인트인 B가 가상 챔버 영역에서 동작함으로써 신뢰성 입증을 위한 비교

데이터로 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

Fig. 8을 통해 호서대학교 반도체 제조장비 국산화 센터가 운영중인 P-5000 시스템은 RF match의 정합영역을 벗어나지 않음을 알 수 있었고 RF match가 정상적으로 동작하는 것을 확인 할 수 있었다.

4.3. β -test 결과 분석

국내에서 반도체 소자의 양산용으로 운전중인 P-5000시스템에 대한 실제 양산용 장비에 대한 β -test를 실시하였다. 시스템의 구성도는 α -Test와 동일하며 공정조건은 아래와 같다.

- Etcher공정(Oxide 공정)
- RF-power : 850 W, Auto B-to-B
- Pressure : 50 mTorr
- Gas : N_2 , Ar, CHF_3 , CF_4

β -test결과를 smith chart로 표현하면 그림 9와 같다. Fig. 9에서 매칭 포인트인 B가 α -test와 달리 비교 정합 영역에서 벗어나 동작하는 사실을 알 수 있다.

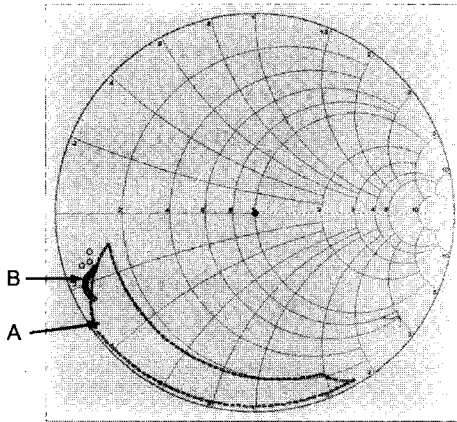


Fig. 9. Smith chart of chamber.

β -test이전까지는 측정된 챔버의 반사전력 발생과 장비의 멈춤에 대한 원인규명을 할 수 없었으나, 본 실험을 통하여 임피던스 형성과정에서 발생하는 문제점에 대한 원인규명 할 수 있었다. 이는 공정 장비나 RF match에 대한 고장 평가를 수행함으로 장비 수명 증가와 공정의 안정화로 플라즈마의 uniformity 및 수율 향상에 도움이 될 수 있다.

이와 같이 개발된 adaptor를 이용하여 정밀 측정된 챔버의 임피던스 데이터를 근거로 챔버 내부 particle로 인한 RF match의 부정합 문제를 해결하였고, 챔버 cleaning시기를 조절할 수 있었으며, 공정의 변화로 인

한 챔버 임피던스를 벗어나 기존의 RF match를 이용한 장비운용에 한계가 있음을 인식하고 새로운 match의 적용을 결정할 수 있었다.

α 및 β -Test의 결과를 토대로 본 연구를 통해 제작된 플라즈마 챔버 임피던스 측정용 adaptor를 적용할 경우 플라즈마 식각/증착장비에서 플라즈마 챔버 내에 형성되는 임피던스 값을 정확히 측정할 수 있었으며, 측정된 결과를 토대로 플라즈마 챔버와 matching network의 정합상태 등을 관찰할 수 있었다. 또한 측정된 data는 장비의 효율적인 관리와 안정적인 공정을 구축하는데 있어서 대단히 유용한 자료로서 활용이 기대된다.

5. 결 론

반도체 제조공정에서 RF 플라즈마를 이용한 식각장치의 챔버 임피던스를 정확히 측정하기 위한 adaptor를 제안하였다. 개발된 adaptor를 이용함으로써 플라즈마 챔버의 임피던스 측정을 보다 용이하고 정확하게 할 수 있어 RF 정합 특성을 정밀하게 분석할 수 있었으며, 개발된 어댑터를 이용하면 기존의 V/I probe를 이용한 경우 발견 할 수 없었던 RF match의 운전상태를 정확히 측정할 수 있었다. 이는 RF 플라즈마를 이용하는 장비의 효율적인 관리와 공정의 안정성 향상에 기여할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 호서대학교 지역협력연구센터(RRC)인 반도체 제조장비 국산화 연구센터의 지원에 의하여 이루어 졌음.

참고문헌

1. Sugawara, M., Plasma Etching, Oxford University Press, Oxford, (1998).
2. Williams, P.F. ed., Plasma Processing of Semiconductors, Kluwer Academic Pub., Boston, (1997).
3. Jiang, P., Economou, D.J., and Shin, C.B. "Effect of Power Modulation on Radical Concentration and Uniformity in a Single-Wafer Plasma Reactor", Plasma Chemistry Plasma Process, 15, 343 (1995).
4. Economou, D. and Alkre, R. "Effect of Potential Field on Ion Deflection and Shape Evolution of Trenches during plasma-Assisted Etching", J. Electrochem. Soc, 135, 941 (1998)
5. Applied Material Inc., Precision-5000 Manual-Operation and Programming, PP. 12-1~12-13.