

2MHz, 2kW RF 전원장치

이정호, 최대규, 최상돈, 최해영, 원충연*, 김수석**
(주)뉴파워플라즈마, 성균관대학교*,서울산업대학교**

2MHz, 2kW RF Generator

J.H. Lee, D.K. Choi, S.D. Choi, H.Y. Choi, C.Y. Won*, and S.S. Kim**
New Power Plasma Co., SungKyunKwan Univ.*,
Seoul National Univ. of Technology**

ABSTRACT

When ICP(Inductive Coupled Plasma) type etching and wafer manufacturing is being processed in semiconductor process, a noxious gas in PFC and CFC system is generated. Gas cleaning dry scrubber is to remove this noxious gas. This paper describes a power source device, 2MHz switching frequency class 2kW RF Generator, used as a main power source of the gas cleaning dry scrubber. The power stage of DC/DC converter is consist of full bridge type converter with 100kHz switching frequency. Power amplifier is push pull type inverter with 2MHz switching frequency, and transmission line transformer. The adequacy of the circuit type and the reliability of generating plasma in various load conditions are verified through 50Ω dummy load and chamber experiments result.

1. 서 론

우리나라의 반도체산업은 그동안 Memory Chip의 세계적인 수요폭증에 힘입어 수출주력상품으로서 국내첨단산업을 선도하여 왔으나 16/64 Mega DRAM등 저급 Memory Chip분야에서 최근 반도체 수출단가의 급격한 하락으로 국제경쟁력을 상실해감에 따라, 256/1024 Mega DRAM 및 비메모리 분야로의 양산설비 확충 및 제조장비의 국산화를 통한 원가절감 필요성이 크게 대두되고 있다. 약 300개의 반도체생산 공정중 60%가 Plasma를 이용한 Etching, CVD, Asher 등의 공정으로서 Chamber와 Plasma Power Supply로 구성되어 있다. Chamber내에 Plasma를 생성시키기 위한 전원장치로서 RF (Radio Frequency - LF, MF ,HF)

Generator, DC Generator 등이 사용되며, 이러한 전원장치의 성능이 Chamber내에서 발생하는 Plasma의 질을 좌우하므로 장비의 신뢰성 측면에서 그 중요성이 크게 요구된다.

특히 RF 전원장치는 국내 반도체 주요 메이커들이 설비를 확충하고 있는 256 DRAM의 Oxide Etching에 사용하는 필수 장비로서 Low Noise, 안정성, 고출력, 고신뢰성 등의 까다로운 사양 때문에 그 수요에 비해 국산화율이 낮고 전량 미국, 일본 등으로부터 수입에 의존하고 있는 상태이다.

본 논문은 반도체 가공용 ICP 및 Gas 세정용 Dry Scrubber의 주전원 장치로 사용되는 RF 전원장치에 관한 연구이다. RF 전원장치는 100kHz 2.4kW 풀 브리지 컨버터와 2MHz, 2kW급 전력 앰프로 구성되어 있다.

2. 시스템 구성

2.1 공정 시스템 구성

공정 시스템의 구조는 그림 1과 같이 CVD 공정용 Chamber와 ICP용 Plasma Chamber, RF 전원장치로 구성되었다. ICP용 Plasma Chamber 내부에 RF 전원이 공급되면 코어를 따라 발생한 자계에 의해 Chamber내에 Plasma가 발생된다. 이 Plasma에 의해 유입된 N2 가스 등의 Reactive 가스의 분해가 시작되며 이때 Plasma의 전계는 낮게 유지됨으로써 Sputtering에 의한 Chamber 내 벽의 손상을 피할 수가 있게 된다. 이러한 방법은 반도체 제조공정 흐름에 있어 보다 많은 용통성과 공정 제어를 용이하게 하는 이점이 있다.

장점으로는 높은 deposition 비율과 reactive sputtering에 있어 target arcing 감소 및 미리 활성화된 산소 또는 질소 원자에 의하여 process의 수행특성 개선 등을 들 수 있다.

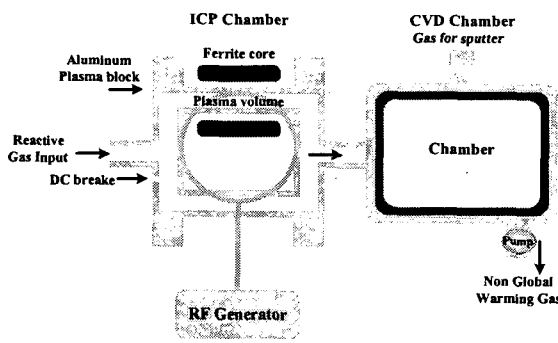


그림 1 공정용 시스템 구성도
Fig. 1 Structure of process system

2.2 2MHz RF 전원장치^[1]

그림 2에서 보듯이 2kW급 Plasma 전원장치의 구성은 3상전원이 차단기와 노이즈 필터단, 정류 회로부를 통해 직류화되고 2.4kW급 풀 브리지 컨버터부로 입력되면 100kHz 스위칭을 통해 제어 가능한 직류전압을 생성한다. 2MHz로 스위칭하는 2kW급 전력 앰프부는 직류전압을 입력받아 RF 출력을 발생하며, 고조파 성분감소 및 반사전력에 의한 부품손상을 차단하기 위하여 Low Pass Filter 단을 거쳐 Plasma 전원이 생성되어진다. 제어를 위한 고정밀 검출회로를 통해 검출된 진행 전력과 반사전력 및 임피던스는 PWM 제어 IC와 Micro Processor(80c196kc)로 구성된 제어부로 입력되어 전력 앰프부의 입력전압을 제어하므로써 극심한 부하변화에서도 Plasma를 안정적으로 유지시켜준다.

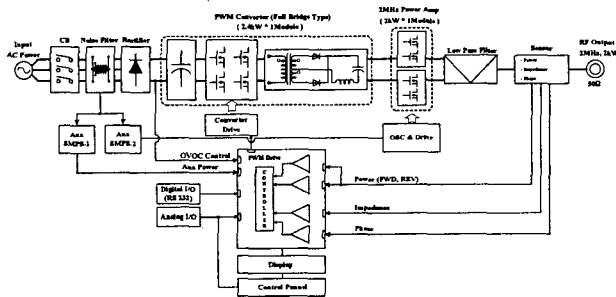


그림 2 RF 전원장치 시스템 구성도
Fig. 2 System Structure of RF Power Device

2.3 Full Bridge PWM Converter

그림 3은 ZVS 풀 브리지 컨버터의 회로구성으로서 변압기의 누설 인덕턴스(Llk)와 전력소자의 출력 커패시턴스 성분간의 공진을 통해 영전압 스위칭을 하게 된다.

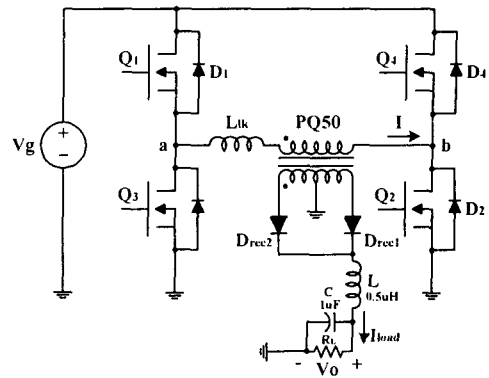


그림 3 풀 브리지 PWM 컨버터 회로구성
Fig. 3 Circuit Structure of Full Bridge PWM Converter

이 컨버터는 정상상태에서 12개의 동작모드로 구분되며 Q1, Q2 와 Q3, Q4의 도통·차단에 대응하여 반주기 동작과 대칭을 이루게 된다. 100kHz로 동작하는 컨버터는 제어 가능한 직류전압을 RF Power Amp에 공급하게 되며 2.4kW의 출력을 가지고 있다.

2.4 RF Power Amplifier^[2]

그림 4는 2kW급 RF Power Amp의 회로구성도로서 효율적인 회로구성을 위하여 병렬 MOSFET 구조의 공진형 푸시풀방식을 채택하였다.

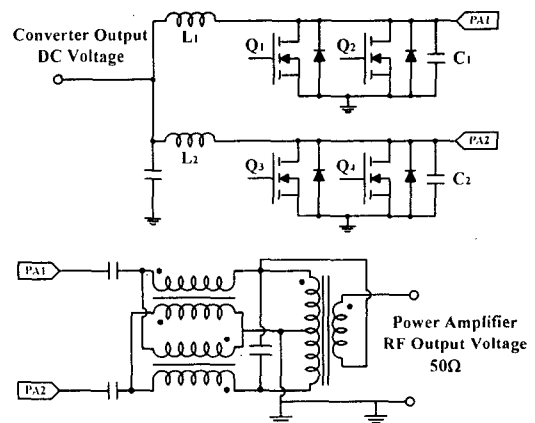


그림 4 RF 전력 앰프 회로구성
Fig. 4 Circuit Structure of RF Power Amplifier

표 1 2MHz 전력 앰프 사용소자 및 파라미터
Table 1 2MHz Power Amp elements and parameters

Q1, Q2, Q3, Q4	APT5010LLL
Output Capacitance	894pF
C1, C2	250pF
L1, L2	500nH

그림 4에서 L1과 L2가 MOSFET 출력 커패시턴스와 병렬 커패시터 C1, C2와 공진하게 된다. 공진을 통해 얻어진 전압은 BALUN (Balanced to Unbalanced) 트랜스포머에 의해 4배로 승압되고 임피던스는 16배 증가되어 50Ω이 된다.

스위치 구동은 그림 5의 2MHz Oscillator, FET Driver, 임피던스 매칭용 수동소자로 구성된 구동 회로에 의해 2MHz의 스위칭 주파수로 동작된다.

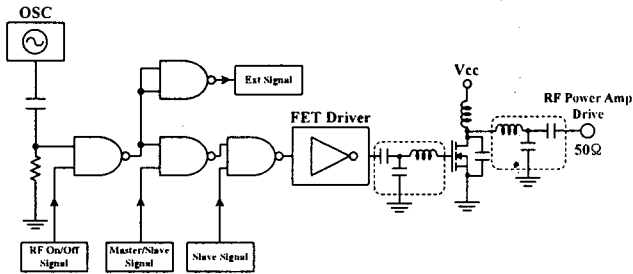


그림 5 전력 앰프 구동 회로구성
Fig. 5 Circuit Structure of Power Amplifier Driver

2.5 Low Pass Filter

Forward 방식의 앰프 회로의 출력 파형은 고조파 성분이 포함되어 있다. 출력필터는 규정된 주파수는 통과시키는 반면에 이보다 큰 주파수는 감쇄시키는 역할을 한다. 본 논문에서는 고조파 성분을 확실하게 제거하기 위하여 그림 6과 같이 5소자 필터를 설계하여 사용하였으며 smith chart를 이용한 필터 시뮬레이션 및 Network Analyzer를 이용한 실험결과를 그림 7에 나타내었다.

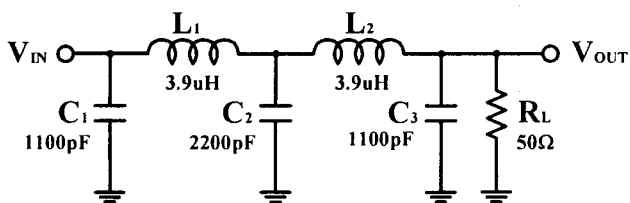


그림 6 Low Pass 필터 회로구성
Fig. 6 Circuit Structure of Low Pass Filter

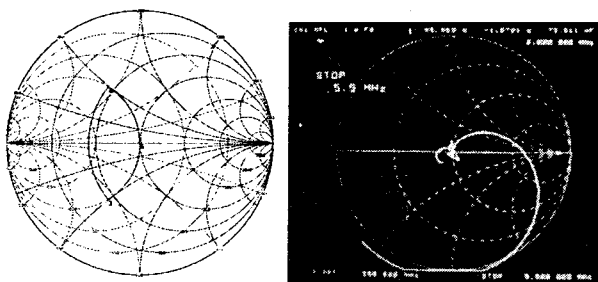


그림 7 스미스 차트 필터 시뮬레이션 및 실험 결과
Fig. 7 Simulation & Experiment Result of Filter
Smith Chart

2.6 고정밀 검출회로부 (RF Power Sensor)

동작 특성은 정상 상태시 (부하 임피던스가 50Ω 인 경우) RF Sensor_2 단자의 전압은 PT 2차측 전압과 CT 2차측 전압의 합이 나타나고 이 값은 곧 진행전력을 의미한다. 반면에 RF Sensor_1 단자의 전압은 PT 2차측 전압과 CT 2차측 전압의 차로 나타나므로 0V가 되고 이 값은 반사전력 값을 나타낸다.

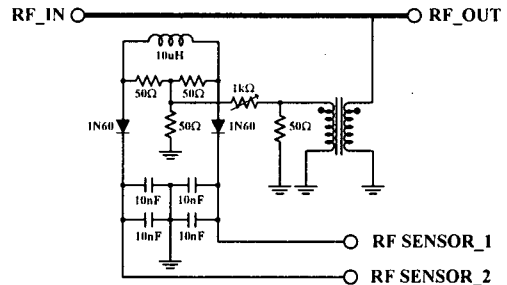


그림 8 검출 회로부 구성
Fig. 8 RF Power Sensor circuit

3. 실험 결과

그림 2의 회로에 50Ω의 Dummy Load를 연결하여 RF 전원장치의 특성실험을 수행하였다. 그림 9는 최대 출력시(2kW)의 풀 브리지 컨버터단의 트랜스포머 1차측 전압 및 전류 파형으로 변압기의 누설 인덕턴스와 전력소자의 출력 커패시턴스 성분 간의 공진을 통해 영전압 스위칭이 이루어짐을 알 수 있다. 그림 10은 RF 앰프단 스위치 양단간 전압 및 전류, 게이트 전압파형과 출력전압 파형을 나타내고 있으며 스위치 양단간 전압파형을 통해 공진이 정확히 이루어짐을 확인할 수 있다. 그림 11은 2kW 출력시의 RF 전원장치의 출력전압 및 전류파형으로서 2MHz 주파수를 가진 정현파로 출력됨을 볼 수 있다.

그림 12는 RF 온오프시의 2kW RF 출력전압 및 전력앰프 입력전압 파형으로 소프트 스타트를 통해 안정된 RF 전압이 출력됨을 볼 수 있다.

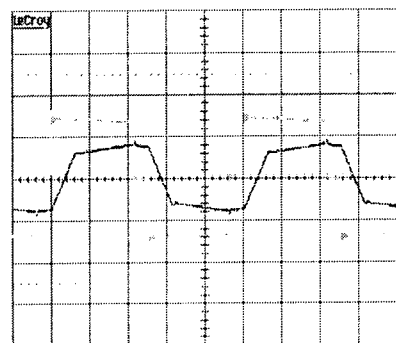


그림 9 풀 브리지 컨버터 변압기 1차측 전압, 전류 파형
Fig. 9 Transformer primary voltage & current
(2us/div, 200V/div, 2A/div)

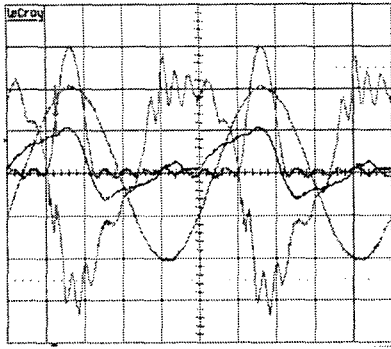


그림 10 전력앰프 스위치 양단간 전압파형
Fig. 10 Vds of Power Amp (0.1us/div, 100V/div)

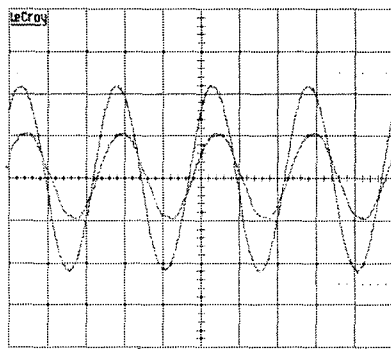


그림 11 2kW RF Generator 출력전압, 전류 파형
Fig. 11 Output Voltage & Current of 2kW RF Generator
(0.2us/div, 100V/div, 2A/div)

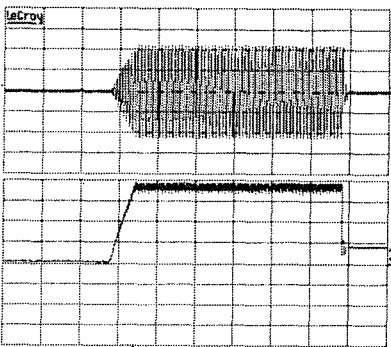


그림 12 2kW RF 온오프시 출력전압, 앰프 입력전압파형
Fig. 12 Output voltage & Amp input voltage waveform when RF On and Off (0.5us/div, 200V/div, 20V/div)

그림 13은 반도체 공정조건 변화에 따른 RF 출력 특성을 확인하고자 200W에서 2kW까지 증가시의 RF 출력 전압을 나타내었다. RF 출력 특성이 지령입력에 선형적으로 추종함을 확인 할 수 있다. 그림 14는 RF 실험 장치 및 Plasma 발생시의 밀도 측정결과를 나타내고 있다. 2kW RF 출력시 1×10^{11} EA/cm² 이상의 고밀도 측정결과를 얻을 수 있었다.

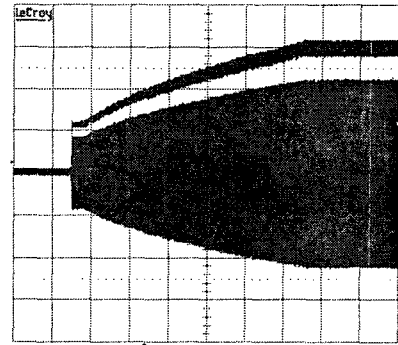


그림 13 설정전력 증가시 앰프 입력전압 및 RF 출력 전압파형 (5s/div, 200V/div, 25V/div)
Fig. 13 Amp Input voltage & RF Output Voltage waveform when setting power value increased

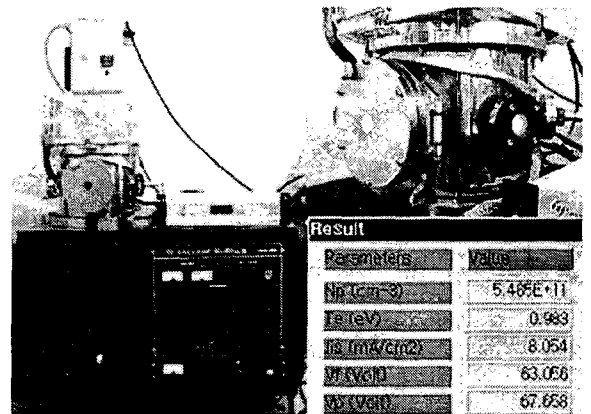


그림 14 Plasma 실험 장치구성 및 결과
Fig. 14 Structure of Plasma experiment and Result

4. 결론

2MHz, 2kW RF 전원장치에 대하여 연구하였다. 50Ω의 Dummy Load와 Chamber 실험을 통하여 RF 출력이 반도체 공정 조건에 적합하게 제어되며 높은 Plasma 밀도를 유지함을 확인하였고 동시에 전력 앰프단의 효율이 전 영역에 걸쳐 90%의 고효율로 동작함을 확인하였다.

이 논문은 에너지관리공단의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

- [1] Simon Ramo, Jhon R. Whinnery, Theodore Van Duzer, "Fields and Waves in Communication Electronics" John Wiley & Sons, Inc. 1993.
- [2] 최대규, "고효율 고주파 발생기(13.56MHz)와 속음 정합기에 관한 연구", 서울산업대학교 산업대학원 석사학위논문, 1999.