전력전자학술대회 논문집 2002. 7. 3 ~ 7. 6

리모트 플라즈마용 전원 개발

김수석, 원충연*, 최대규**, 최상돈**
서울산업대학교, 성균관대학교*, 뉴파워프라즈마**

The development of RPS(Remote Plasma Source)

Soo-Seok Kim, Chung-Yuen Won*, Dae-Kyu Choi**, Sang-Don Choi**
Seoul National Univ. of Technology, Sungkyunkwan Univ*, New Power Plasma co.**

ABSTRACT

In this paper, the development of the RF power supply for Remote Plasma System is discussed. 7kW, 400kHz Remote Plasma Generator is designed and tested.

The main power stage is used for the HB PWM inverter with an LC filter in the secondary circuit. The operation characteristics of Remote Plasma Generator are verified by simulation and experimental results.

Key words: Remote Plasma System, RF power , Plasma, HB PWM inverter

1. 서 론

기존 반도체 생산 공정 중 화학적 기상 증착(CVD) 공정에서 웨이퍼 가공 공정과 클리닝 공정을 내부 RF 플라즈마 (in situ clean)를 이용하여 처리하였다. 그림 1의 (a)와 같이 13.56MHz의 RF 플라즈마에 의하여 CVD 챔버 내부에 CF_4 또는 C_2F_6 가스를 분해함으로써 클린 공정을 수행하게 된다. 이와 같은 방법은 챔버 내벽의 손상 및 긴 클린 시간에 따른 에칭 비율의 저하를 야기 시키며 지구 온난화의 원인인 PFC 가스의 분해율이 20%-70% 정도로 낮은 문제점이 있다. 최근에 제시된 방법으로 그림 1의 (b)와 같이 웨이퍼의 가공 공정은 내부 RF 플라즈마를 이용하여 처리하고 클리닝 공정은 외부 리모트 플라즈마 소스(Remote Plasma Source)를 이용하여 처리하는 추세로 바뀌고 있다. 이러한 리모트 플라즈마 챔버 클린 기술은 챔버 외부에서 일으킨 플라즈마 방전에 의하여 발생된 불소 원자를 이용하여 챔버 내부를 클리닝하는 방법이다. 기존의 방법에 비해 RPS를 사용하므로 단위 시간당 높은 클리닝 효율과 상대적으로 낮은 클리닝 공정시 발생하는 챔버 내부손실 및 90%이상의 높은 NF_3 가스의 분해효율 등의 이점을 들 수 있다.

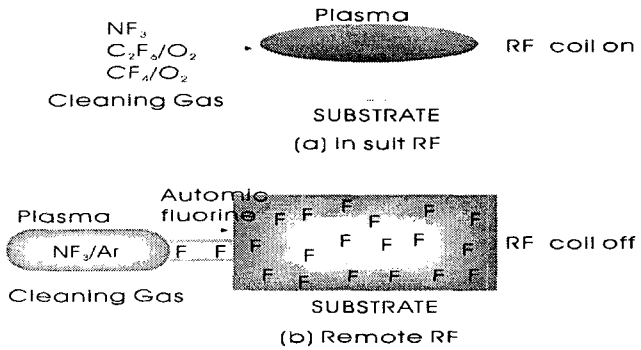

그림 1 챔버 클린 기술
Fig. 1 Chamber clean techniques

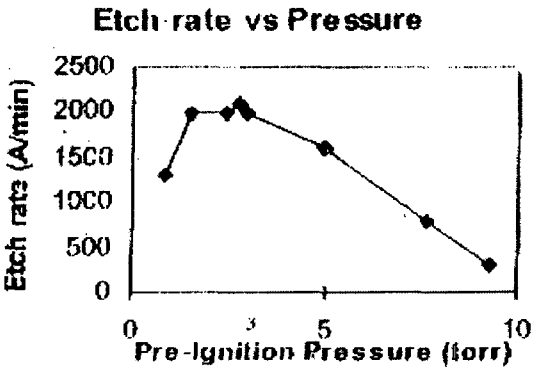

그림 2 에칭 비율
Fig. 2 Etch rate

일반적으로 에칭 비율은 그림 2와 같이 약 5 torr 이하의 압력에서 높게 나타난다. 반면에 NF_3

가스의 분해율은 그림 3과 같이 약 5 torr 이상의 압력에서 높게 나타난다.[1][2] 그러므로 높은 클리닝 효과와 우수한 세정효과를 동시에 얻기 위해서는 5 torr 이하의 압력 조건에서 많은 양의 NF_3 가스에 대하여 높은 분해율이 유지돼야만 된다. 소비되는 RF 전원의 파워는 NF_3 가스의 양에 비례하게 된다. 그러므로 5 torr 이하의 압력에서 NF_3 가스의 높은 분해 효과를 얻기 위해서는 높은 파워의 RF 전원이 요구된다.

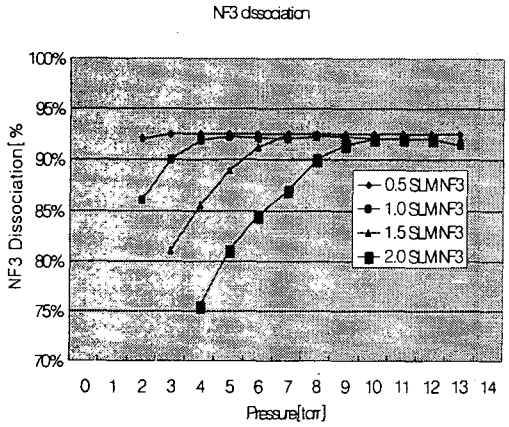

그림 3 NF_3 가스 분해율
Fig. 3 NF_3 dissociation

본 논문은 리모트 플라즈마 시스템의 구조와 리모트 플라즈마를 발생하기 위한 전원장치에 대한 연구이다. 주 전력회로는 스위칭 주파수 400kHz, Half Bridge방식의 인버터와 400kHz Low Pass filter로 구성되었다. 모드해석과 모의실험을 통하여 회로방식의 타당성을 확인하였고 50 Ω dummy load 및 챔버 실험을 통한 다양한 부하실험에서도 리모트 플라즈마를 안정되게 발생시킬 수 있음을 확인하였다.

2. 리모트 플라즈마 시스템

2.1 시스템 구성 및 원리

리모트 플라즈마 시스템의 구조는 그림 2와 같다. 리모트 플라즈마 시스템의 구성은 기존의 CVD 공정용 챔버와 RPG용 챔버 RF 전원장치로 구성되었다. 리모트 플라즈마용 챔버 내부에 Ar 가스가 유입되고 전원이 공급됨과 동시에 철심의 1차회 로에는 RF 전원이 공급된다. 이때 철심을 따라 발생한 자계에 의해 챔버 내에는 플라즈마가 발생되고 이 플라즈마에 의해 유입된 NF_3 가스의 분해가 시작된다. 이때 플라즈마의 전계는 낮게 유지됨으로써 sputtering에 의한 챔버 내 벽의 손상을 피할 수 가 있게 된다.

유입된 NF_3 가스는 N_2, F, F_2로 분해 되고 이때 분해율은 90%이상을 유지하게 된다. 분해 된 가스는 CVD 챔버 내로 유입되고 챔버 내에 존재하는 SiO_2 와 반응하여 $SiF_4 + O_2$ 로 재결합됨으로써 클린 공정이 수행된다.

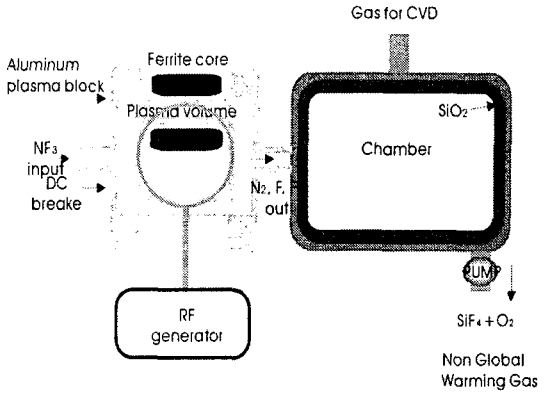

그림 4 리모트 플라즈마 시스템
Fig. 4 Remote Plasma System

2.2 리모트 플라즈마용 RF 전원 장치

그림 3은 반도체 생산 공정 중 화학적 기상 증착(CVD) 공정중 챔버 외부에서 플라즈마를 일으키기 전원장치의 구성도를 나타내었다.

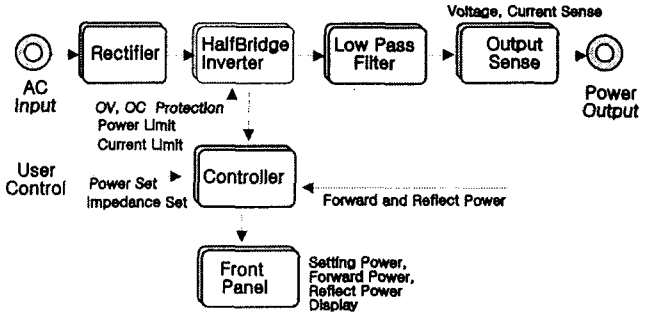

그림 5 리모트 플라즈마용 전원장치 블록도
Fig. 5. Block diagram of Remote Plasma Source

주 전력회로는 하프 브리지 PWM 인버터로 구성되어있으며 2개의 주스위치 모두 영전압 스위칭으로 동작한다. 3개의 L, C 수동 소자로 구성된 low pass 필터는 하프 브리지 인버터 출력의 고조파 성분을 제거하여 주파수 특성을 좋게 한다. RF 전원 장치는 항상 최대 시비율로 운전하게 되어 있다. 리모트 플라즈마의 발생을 용이하게 하기 위하여 운전 초기에는 Ar 가스를 투입하여 초기 플라즈마가 발생되면 클리닝 공정을 위하여 NF_3 가스를 투입하게 된다. NF_3 가스 투입후 플라즈마

가 발생되는 순간 RF 전원 장치 입장에서는 부하가 단락된 상태와 거의 유사하게 된다. 이후 NF_3 가스의 양을 증가시키면 RF 전원 장치의 출력이 증가된다. 즉 NF_3 가스의 압력에 따라 RF 전원 장치 측에서 보면 부하 임피던스가 변하는 형태로 반영된다.

출력 검출회로는 CT와 PT를 이용하여 전파 전력과 반사 전력을 검출하여 제어부로 보낸다. 제어부는 PWM 제어 IC와 80C51을 사용하여 출력 전력 설정, 임피던스 변환 값 설정, 과전압 보호, 과전류 보호 등의 기능이 있다. LCD 표시부는 설정 전력, 전파 전력, 반사 전력 표시 기능이 있다.

2.3 하프 브리지 인버터

그림 6은 하프 브리지 인버터의 회로와 변압기 1차측 전압 파형 V_{AB}와 전류파형 I_L를 나타내었다. 인버터의 출력은 구형파의 시비율을 변화시킴으로 제어할 수 있다.

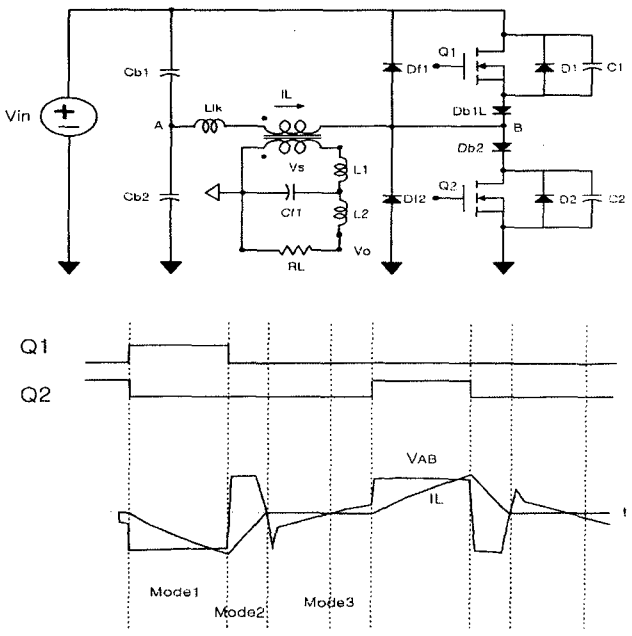

그림 6 리모트 플라즈마용 전원장치의 회로도와 변압기 1차측 전압 전류 파형

Fig. 6 Voltage and current wave form of Transformer's primary side and Power stage Circuit of Remote Plasma Source

2.3.1 모드별 운전특성

인버터의 정상 상태에서의 동작을 해석하기 위하여 그림 6에 나타낸 바와 같이 한 주기를 6개의 동작 모드로 구분 할 수 있다. 그러나 한 주기 동안의 동작중 1-3 모드 동안의 반주기 동작은 4-6 모드 동안의 다른 반주기 동작과 대칭을 이루게 된다. 따라서 반주기 동안의 해석을 가지고도 전체 동작 설명이 가능하며 이하 각 구간별 동작 해석을 나타낸다.

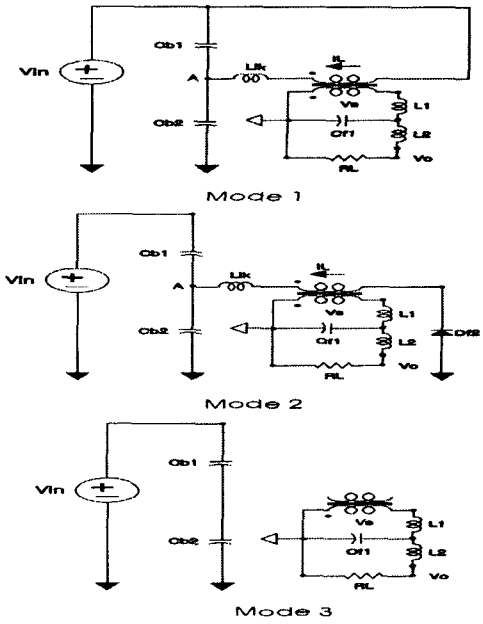

그림 7 운전 모드

Fig. 7 Operation Mode

◆모드 1 : 스위치 Q_1 이 턴온 이때 변압기 1차측 에너지가 변압기 2차 측으로 전달되고 전원측 커패시터 C_{b1}은 충전, C_{b2}는 방전을 한다.

◆ 모드 2 : 스위치 Q_1이 턴 오프 되고 다이오드 D_{f2}가 도통되며 누설 인덕턴스 L_{lk}의 에너지는 이 도통 경로를 통하여 환류 된다.

◆ 모드 3 : 누설 인덕턴스 L_{lk}의 에너지가 완전히 방전된 후 변압기 1차측과 2차측이 분리된 상태에서 변압기 2차측의 에너지는 계속 순환된다.

3. 모의실험 및 실험 결과

그림 6의 회로를 이용하여 리모트 플라즈마용 전원장치의 PSPICE 모의실험 및 실험을 수행하였다.

모의실험은 30% 시비율에서 수행하였으며 챔버 실험은 최대 출력시(7kW) 정상상태 특성 실험을 수행하였다.

그림 8은 모의실험 파형으로 변압기 1차측의 전압 파형과 변압기 1차 전류의 파형을 나타내었고 그림 9는 2kW 출력시 변압기 1차측의 전압 파형과 변압기 1차 전류의 실험 파형을 나타내었다.

그림 10은 모의실험 파형으로 RF 출력 전압 파형과 그림 11은 RF 출력 전압 실험 파형을 나타내었다.

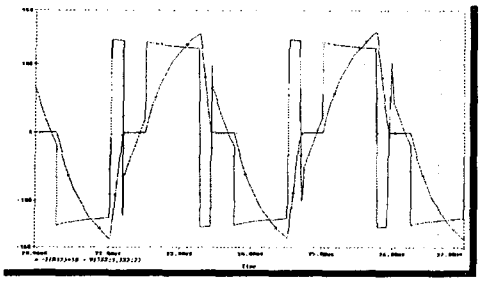

그림 8 변압기1차측의 전압, 전류 모의실험 파형

Fig. 8 Voltage and current simulation wave form of transformer

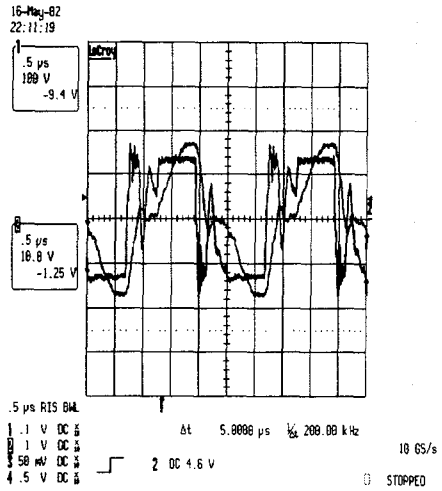

그림 9 변압기 1차측의 전압, 전류 실험 파형

Fig. 9 Voltage and current wave form of transformer

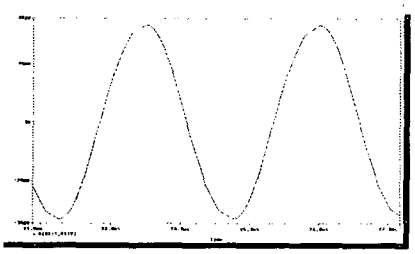

그림 10 RPG 출력 전압 모의실험 파형

Fig. 10 Simulation output waveform of RPG

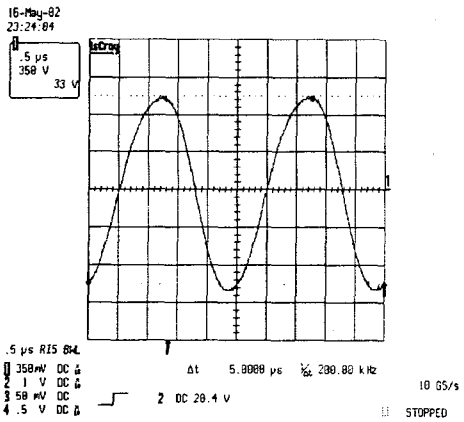

그림 11 RPG 출력 전압 실험 파형

Fig. 11 Experimental output waveform of RPG

4. 결 론

화학적 기상 증착(CVD) 공정에 있어 높은 클린 효율과 환경 유해 가스를 효과적으로 세정하기 위한 장비인 리모트 플라즈마 시스템용 전원 장치에 대해 연구하였다. 모드해석과 모의실험 및 실험을 통하여 2개의 주 스위치는 모두 영전압 조건에서 동작되고 있음을 확인 할 수 있었고 50Ω 더미로드 실험과 쳄버 실험을 통하여 개발된 전원장치는 플라즈마 발생시와 정상상태에서도 정상적으로 동작될 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] R. Raoux, J. G. Langan, "Remote NF_3 Chamber Clean Virtually Eliminates PFC Emission from CVD Chamber and Improves System Productivity" semiconductor fabtech-9th edition, pp107-113.

[2] K. Ino, I. Natori, A. Ichikawa, R. N. Vrtiaabate, "Plasma Enhanced In Situ Chamber Cleaning Evaluated by Extracted Plasma Parameter Analysis", IEEE Transactions of Semiconductor Manufacturing, Vol. 9,NO. 2, MAY 1996.