

리모트 플라즈마 전원용 하프 브리지 인버터의 운전 특성

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

A Operation characteristics of the HB inverter for Remote Plasma Source

S.S. Kim, C.Y. Won*, D.K. Choi**, and S.D. Choi**
 Seoul Nat'l Univ. of Technology, Sungkyunkwan Univ*, New Power Plasma Co.**

ABSTRACT

In this paper, a operation characteristics and analysis of the HB(half bridge) inverter for remote plasma system are studied. the remote plasma system is cleaning system for the chemical vapor deposition (CVD) chamber in semiconductor processing. The remote plasma system is powered by the RF generator. The main power stage of the RF generator is used for the HB PWM inverter with an low pass filter in the secondary circuit of the transformer. The detailed mode analysis of HB inverter was described. The operation characteristics of Remote Plasma Source are verified by simulation and experimental results.

1. 서 론

최근 반도체 생산공정에 있어서 화학적 기상증착 챔버의 크리닝 공정을 외부 플라즈마에 의하여 수행하는 리모트 플라즈마 클리닝 방식이 어플라이드 메터리알사에 의하여 제시되었다. 이러한 리모트 플라즈마 챔버 클리닝 기술은 기존 CVD 챔버 외부에 있는 리모트 플라즈마 챔버 내에서 NF_3 , C_3F_8 등의 클리닝 가스를 분해한후 분해된 불소 원자를 이용하여 CVD 챔버 내의 SiO_2 , Si_3N_4 등의 불순물을 클리닝 하는 방법이다.^{[1][2]}

이러한 방법은 기존의 방법에 비해 단위 시간당 높은 클리닝 효율과 상대적으로 낮은 챔버 내부손실 및 95%이상의 높은 NF_3 가스의 분해효율 등의 이점을 들 수 있다.

일반적으로 에칭 비율은 그림 1과 같이 약 5 torr 이하의 압력에서 높게 나타난다. 반면에 NF_3 가스의 분해율은 그림 2와 같이 약 5 torr 이상의

압력에서 높게 나타난다.^{[2][3]} 그러므로 높은 챔버 클리닝 효과와 환경유해 가스에 대한 우수한 세정효과를 동시에 얻기 위해서는 5 torr 이하의 압력 조건에서 많은 양의 NF_3 , C_3F_8 등의 클리닝 가스에 대하여 높은 분해율이 유지돼야만 된다. 또한 챔버 내에서 소비되는 RF 전원의 파워는 유입된 가스의 양에 비례하는 특징을 갖고있다. 그러므로 5 torr 이하의 압력에서 NF_3 , C_3F_8 등의 클리닝 가스에 대한 높은 분해 효과를 얻기 위해서는 높은 파워의 RF 전원의 개발이 요구된다.

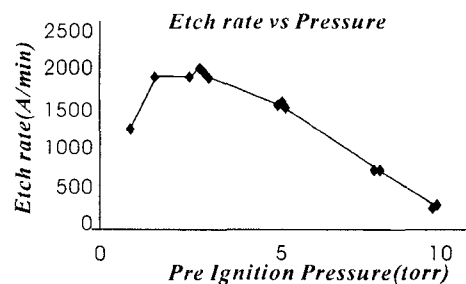


그림 1 에칭 비율
 Fig. 1 Etch rate

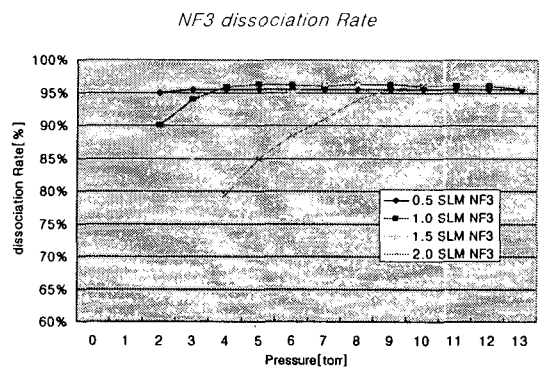


그림 2 NF_3 가스 분해율
 Fig. 2 NF_3 dissociation

본 논문은 리모트 플라즈마 시스템용 RF 전원장치에 대하여 연구하였다. 주 전력회로는 스위칭 주파수 400kHz, Half Bridge방식의 인버터와 400kHz Low Pass filter로 구성되었다. HB inverter의 모드해석과 각 모드에 대한 상태 방정식을 도출하였고, 유도된 수식을 이용하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험 통하여 회로방식의 타당성을 확인하였고 50 Ω dummy load 실험을 통하여 주 전력회로의 운전특성을 확인하였고 챔버 실험을 통한 다양한 부하실험에서 리모트 플라즈마를 안정되게 발생시킬 수 있음을 확인하였다.

2. 하프 브리지 인버터

그림 3은하프 브리지 인버터의 회로와 변압기 1차측 전압 파형 V_{AB} 와 전류파형 I_L 를 나타내었다. 인버터의 출력은 스위치 Q_1, Q_2 의 gate 신호의 시비를 변화시킴으로 제어할 수 있다.

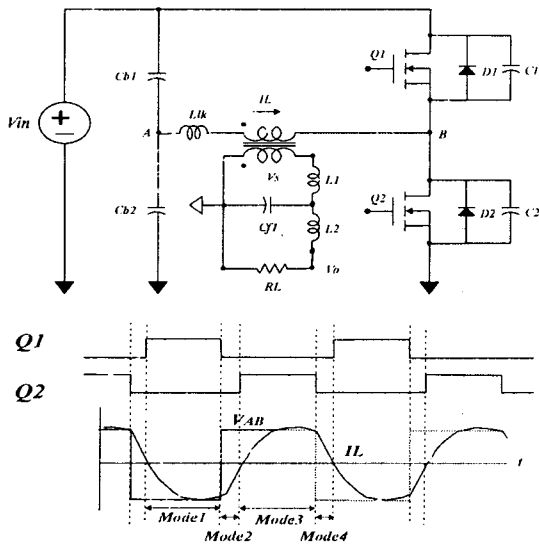


그림 3 리모트 플라즈마용 전원장치의 회로와 변압기 1차측 전압 전류 파형

Fig. 3 Voltage and current wave form of Transformer's primary side and Power stage Circuit of Remote Plasma Source

2.1 모드별 운전특성

HB 인버터의 정상 상태에서의 동작을 해석하기 위하여 그림 3에 나타낸 바와 같이 한 주기를 4개의 동작 모드로 구분 할 수 있다. 그러나 한 주기 동안의 동작중 1-2 모드 동안의 반주기 동작은 3-4 모드 동안의 다른 반주기 동작과 대칭을 이루게 된다.

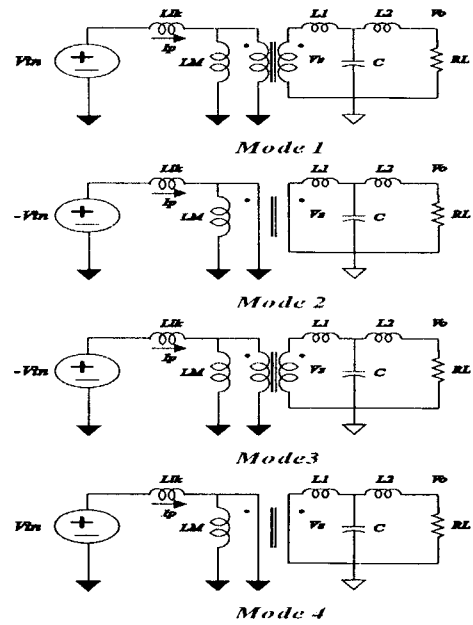


그림 4 운전 모드

Fig. 4 Operation Mode

◆모드 1 : 모드1 이전 상태에서, 스위치 Q_1 의바다 다이오드 D_1 이 턴온된 후 스위치 Q_1 은 영전압 턴온 이때 변압기 1차측 에너지가 변압기 2차측으로 전달됨. 모드1의 등가회로로부터 다음의 방정식을 유도 할 수 있다.

$$V_m = L_{lk} \frac{di_p(t)}{dt} + L_m \frac{di_m(t)}{dt} \quad (1)$$

$$i_p(t) = i_m(t) + i_{L1}(t) \quad (2)$$

$$L_m \frac{di_m(t)}{dt} = L_1 \frac{di_{L1}(t)}{dt} + V_c(t) \quad (3)$$

$$\frac{N_1}{N_2} = 1$$

$$i_{L1}(t) = i_c(t) + i_o(t) \quad (4)$$

$$V_c(t) = L_2 \frac{di_o(t)}{dt} + i_o(t)R \quad (5)$$

$$C \frac{dV_c(t)}{dt} = i_{L1}(t) - i_o(t) \quad (6)$$

◆ 모드 2 : 스위치 Q_1 이 턴 오프 되고 다이오드 D_2 가 턴온, 이때 누설 인덕턴스 L_{lk} 에 축적된 에너지는 다이오드 D_2 을 통하여 회생되고 변압기 1차측과 2차측은 전기적으로 분리된상태가 된다. 모드 2의 등가회로로부터 다음의 방정식을 유도 할 수 있다.

$$-V_m = L_{lk} \frac{di_p(t)}{dt} \quad (7)$$

$$L_1 \frac{di_{L1}(t)}{dt} + V_c(t) = 0 \quad (8)$$

$$i_{L1}(t) = i_c(t) + i_o(t) \quad (9)$$

$$V_c(t) = L_2 \frac{di_o(t)}{dt} + i_o(t)R \quad (10)$$

$$C \frac{dV_c(t)}{dt} = i_{L1}(t) - i_o(t) \quad (11)$$

◆ 모드 3 : 누설 인덕턴스 L_{lk} 에 축적된 에너지는 다이오드 D_2 을 통하여 완전히 방전된 후 1차 전류 $i_p(t)$ 는 영이된 후 스위치 Q_2 를 통하여 전류가 흐르게 된다. 이때 스위치 Q_2 는 영전압 턴온 이때 변압기 1차측 에너지가 변압기 2차 측으로 전달되며 모드3의 등가회로부터 다음의 방정식을 유도할 수 있다.

$$-V_m = L_{lk} \frac{di_p(t)}{dt} + L_m \frac{di_m(t)}{dt} \quad (12)$$

$$i_p(t) = i_m(t) + i_{L1}(t) \quad (13)$$

$$L_m \frac{di_m(t)}{dt} = L_1 \frac{di_{L1}(t)}{dt} + V_c(t) \quad (14)$$

$$i_{L1}(t) = i_c(t) + i_o(t) \quad (15)$$

$$V_c(t) = L_2 \frac{di_o(t)}{dt} + i_o(t)R \quad (16)$$

$$C \frac{dV_c(t)}{dt} = i_{L1}(t) - i_o(t) \quad (17)$$

◆ 모드 4 : 스위치 Q_2 이 턴 오프 되고 스위치 Q_1 의 바디 다이오드 D_1 가 턴온, 이때 누설 인덕턴스 L_{lk} 에 축적된 에너지는 다이오드 D_1 을 통하여 회생되고 변압기 1차측과 2차측은 전기적으로 분리된상태가 된다. 모드4의 등가회로부터 다음의 방정식을 유도할 수 있다.

$$V_m = L_{lk} \frac{di_p(t)}{dt} \quad (18)$$

$$L_1 \frac{di_{L1}(t)}{dt} + V_c(t) = 0 \quad (19)$$

$$i_{L1}(t) = i_c(t) + i_o(t) \quad (20)$$

$$V_c(t) = L_2 \frac{di_o(t)}{dt} + i_o(t)R \quad (21)$$

$$C \frac{dV_c(t)}{dt} = i_{L1}(t) - i_o(t) \quad (22)$$

2.2 리모트 플라즈마 시스템의 구성 및 원리

리모트 플라즈마 시스템의 구조는 그림 5와 같다. 시스템의 구성은 기존의 CVD 공정용 챔버와

RPG용 챔버, RF 전원장치로 구성되었다. NF_3 가스를 크리닝. 가스로 사용하는 경우, 리모트 플라즈마용 챔버 내부에 Ar 가스가 유입되고 RF 전원이 공급됨과 동시에 1차회로에는 전류가 흐르게 된다. 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 CVD 챔버 내 벽의 손상을 피할 수 있게 된다.

유입된 NF_3 가스는 N_2 , F, F_2 로 분해 되고 이때 분해율은 95%이상을 유지하게 된다. 분해된 가스는 CVD 챔버 내로 유입되고 챔버 내에 존재하는 SiO_2 와 반응하여 $SiF_4 + O_2$ 로 재결합됨으로써 클린 공정이 수행된다.

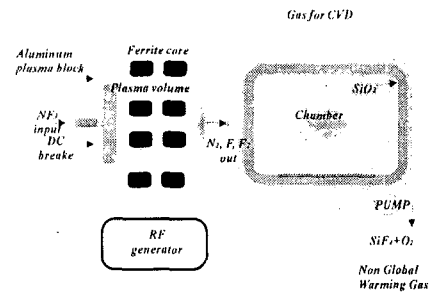


그림 5 리모트 플라즈마 시스템
Fig. 5 Remote Plasma System

2.3 리모트 플라즈마용 RF 전원 장치

그림 6은 반도체 생산 공정 중 화학적 기상 증착(CVD) 공정중 챔버 외부에서 플라즈마를 일으키기 위한 장치의 구성도를 나타내었다.

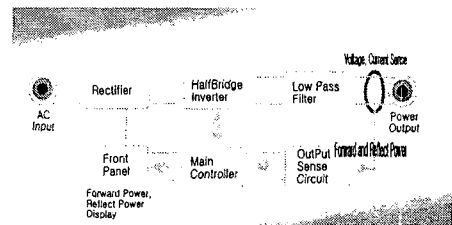


그림 6 리모트 플라즈마용 전원장치 블록도
Fig. 6 Block diagram of Remote Plasma Source

리모트 플라즈마 시스템의 주 전력회로는 하프 브리지 PWM 인버터로 구성되어있으며 2개의 주 스위치 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 최

대 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 플라즈마가 발생하는 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 유입량에 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 IC uc3825와 통신 및 시스템 통합 제어를 위한 80C51을 사용하여 시스템 보호 및 제어를 수행한다. LCD 표시부는 전파 전력, 반사 전력 표시 기능이 있다.

3. 모의실험 및 실험 결과

그림 3의 회로를 이용하여 리모트 플라즈마용 전원장치의 모의실험 및 실험을 수행하였다. 모의실험은 30% 시비율에서 수행하였으며 챔버 실험은 최대 출력시(6.5kW) 정상상태 특성 실험을 수행하였다.

그림 7은 모의실험 파형으로 변압기 1차측의 전압 파형과 변압기 1차 전류의 파형을 나타내었고 그림 8은 2kW 출력시 변압기 1차측의 전압 파형과 변압기 1차 전류의 실험 파형을 나타내었다. 그림 9는 모의실험 파형으로 주 스위치 Q_1 의 전압 파형과 전류의 파형을 나타내었고 그림 10은 주 스위치 Q_1 의 전압 파형과 전류의 실험 파형을 나타내었다. 이 전압 전류 파형을 통하여 영전압 스위칭이 이루어짐을 확인할 수 있다.

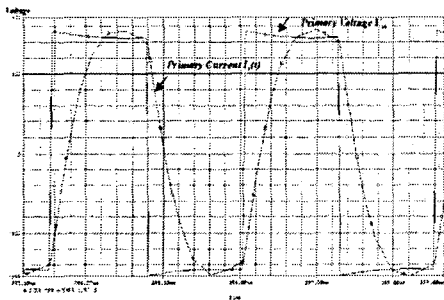


그림 7 변압기1차측의 전압, 전류 모의실험 파형
Fig. 7 Voltage and current simulation wave form of transformer

그림 11은 모의실험 파형으로 RF 출력 전압 파형과 그림 12는 RF 출력 전압 실험 파형을 나타내었다. 표 1에는 클리닝 공정시 리모트 플라즈마에

의한 NF_3 및 C_3F_8 가스의 분해율을 FTIR로 측정 한 실험 결과를 나타내었다. 개발된 리모트 플라즈마용 전원을 사용하여 CVD 공정 실험을 한 결과 5 Torr 이하의 압력에서도 95% 이상의 NF_3 및 C_3F_8 가스의 분해율을 유지함으로써 높은 클리닝 효율 및 PFC 가스의 세정효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

표 1 FTIR에 의한 실험 결과
Table 1 Experiment Data by FTIR

NF ₃ (SLM)	Ar (SLM)	Pressure	Power	FTIR(ppm)		분해율
				전	후	
2.5	2	4 torr	5.6kW	158,400	15,800	90
2.0	1.7	4 torr	5.4kW	128,500	5,300	95.8
1.5	1.5	4 torr	4.9kW	99,700	3,800	96.1
1.0	1.0	4 torr	5.7kW	71,800	2,300	96.7

C ₃ F ₈ (SLM)	O ₂ (SLM)	Ar (SLM)	Pressure	Power	FTIR(ppm)		분해율
					전	후	
0.7	1.4	2.0	4 torr	5.6kW	23,700	1,200	94.9
0.6	1.2	1.8	4 torr	5.4kW	19,200	800	95.8
0.5	1.0	1.5	4 torr	4.9kW	14,200	500	96.5

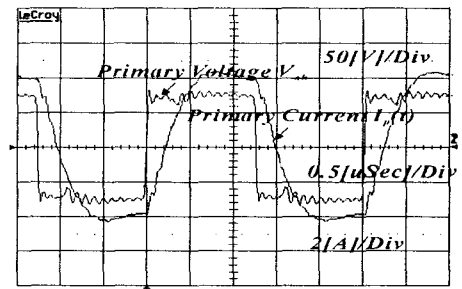


그림 8 변압기 1차측의 전압, 전류 실험 파형
Fig. 8 Voltage and current wave form of transformer

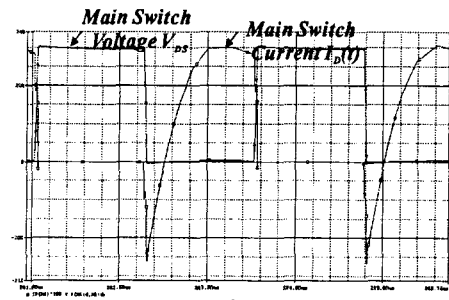


그림 9 스위치 Q_1 의 전압, 전류 모의 실험 파형
Fig. 9 Voltage and current wave form of Main Switch Q_1 (simulation)

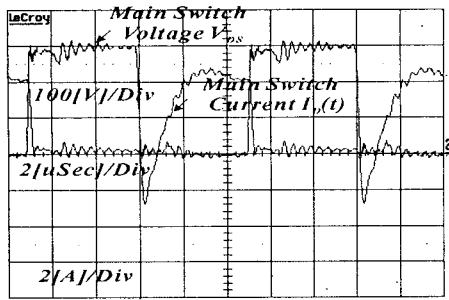


그림 10 스위치 Q₁의 전압, 전류 실험 파형
 Fig. 10 Voltage and current wave form of Main Switch Q₁ (experiment)

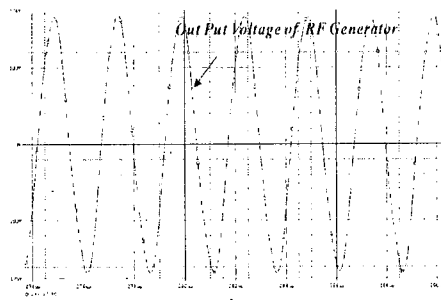


그림 11 RPG 출력 전압 모의실험 파형
 Fig. 11 Simulation output waveform of RPG

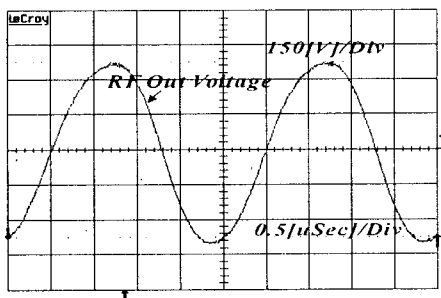


그림 12 RPG 출력 전압 실험 파형
 Fig. 12 Experimental output waveform of RPG

4. 결 론

화학적 기상 증착(CVD) 공정에 있어 높은 클리닝 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 더미 로드 실험과 챔버 실험을 통하여 개발된 전원장치는 플라즈마 발생시와 정상상태에서도 정상적으로 동작될 수 있음을 확인하였다. 개발된 전원장치를 이용하여 CVD 공정시 FTIR 측정을 한 결과 5

Torr 이하에서 95% 이상의 NF₃ 및 C₃F₈ 가스의 분해율을 유지함으로써 높은 클리닝 효율 및 PFC 가스의 세정효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] William Holber, Xing chen, Donald Smith and Matt Besen , "Use of a remote plasma source for CVD chamber clean and exhaust gas abatement applications." Plasma Science, 1999. ICOPS '99. IEEE Conference Record - Abstracts. 1999 IEEE International Conference on , 20-24 June 1999 Page(s): 158.
- [2] R. Raoux, J. G. Langan, "Remote NF₃ Chamber Clean Virtually Eliminates PFC Emission from CVD Chamber and Improves System Productivity" semiconductor fabtech-9th edition, pp. 107-113.
- [3] 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.
- [4] Guan-Chyun Hsieh and Chien-Ming Wang , "One-cycle controlled half-bridge series-resonant DC to AC inverter with reduced conduction loss.", Industrial Electronics, Control and Instrumentation, 1997. IECON 97. 23rd International Conference on , Volume: 2 , 9-14 Nov. 1997 Page(s): 786 -791 vol. 2.
- [5] Sergey Korotkov, Valery Meleshin, Rais Miftahutdinov, Simon Fraidlin, "Soft-Switched Asymmetrical Half-bridge DC/DC Converter: Steady-State Analysis. An Analysis Of Switching Processes.", Telescon '97 - The Second International Telecommunications Energy Special Conference , April 22-24,1997 Page(s): 177 -184.