

환경친화형 페라이트 코어 유도결합 플라즈마 고주파 전력 변환 장치

(RF Power Conversional System for Environment-friendly Ferrite Core Inductively
Coupled Plasma Generator)

이정호* · 최대규 · 김수석 · 이병국 · 원충언

(Joung-Ho Lee · Dae-Kyu Choi · Soo-Seok Kim · Byoung-Kuk Lee · Chung-Yuen Won)

요 약

본 논문은 TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 장비 공정용 챔버(Chamber) 세정을 위한 새로운 플라즈마 세정방법에 적합한 플라즈마 발생방법과 플라즈마 발생을 위한 고주파 전원장치의 전력회로에 관한 연구이다. 세정에 요구되는 고밀도 플라즈마는 안테나 형태의 기존 ICP(Inductively Coupled Plasma) 방식에 강자성체인 페라이트 코어를 적용하므로써 1×10^{11} [EA/cm²]이상의 고밀도 플라즈마 발생을 가능하게 하였다. 플라즈마 발생을 위한 400[kHz] 고주파 전력 변환 장치의 경우 범용 HB(Half Bridge) 인버터 방식을 적용하여 플라즈마 부하에서도 안정적인 영전압 스위칭 동작을 확인 하였다. 변압기 직렬결합 방식을 사용한 10[kW] 고출력을 통해 Ar과 NF₃ 가스 분위기하에서 플라즈마의 밀도와 NF₃ 가스 분해율을 측정하므로써 고주파 전력 변환 장치의 성능을 입증하였다.

Abstract

This paper is a study about a proper method of plasma generation to cleaning method and a high frequency power equipment circuit to generation of plasma that used cleaning of chamber for TFT-LCD PECVD. The high density plasma required for cleaning causes a possibility of high density plasma more than 1×10^{11} [EA/cm²]. It apply a ferrite core of ferromagnetic body to a existing ICP form. In case of power transfer equipment on 400[kHz] high frequency to generation of plasma, it makes certain a stable switching operation in condition of plasma through using a inverter form for general purpose HB. And it demonstrates the performance of power transfer equipment using methods of measurement which use a transformer of series combination the density of plasma and the rate of dissolution of NF₃ in condition of Ar and NF₃.

Key Words : Remote Plasma System, RF power, Plasma, HB PWM Inverter

* 주저자 : (주)뉴파워플라즈마 기술기획팀 팀장

Tel : 031-273-9421, Fax : 031-273-6896

E-mail : leejh@newpower.co.kr

접수일자 : 2006년 5월 16일

1차심사 : 2006년 6월 8일

심사완료 : 2006년 6월 20일

1. 서 론

TFT-LCD(Thin Film Transistor Liquid Crystal Display) 산업에서 대한민국은 세계적 수준의 패널 양산기술을 보유하고 있으며 10인치 이상의 TFT-LCD에서는 세계 시장 점유율 1위를 차지하고 있으나 장비 및 부품, 소재의 국산화율은 35~40[%] 수준에 불과하다. 또한 패널을 생산하기 위한 제조 공정에서 사용되는 가스는 대부분 지구 온난화 가스로서 지구 온난화 대책에 관한 국제조약인 “교토의 정서”에 근거하여 배출감축 의무부담 압력이 본격화 될 전망이다.

따라서 TFT-LCD 장비기술에 국산화가 요구되고 있으며 그 중에서 패널 생산성 향상과 CFC 계열 및 PFC 계열의 환경유해 가스를 부수적으로 제거할 수 있는 세정 공정은 여러 산업 분야에서 아주 중요한 기술이 되었으며 향후에는 핵심 공정으로 자리 잡게 될 것이다. 특히 패널의 미세화가 진행됨에 따라 수율과 신뢰성 측면에서 파티클과 금속입자, 그리고 챔버 박막과 같은 불순물 제거의 중요성이 점점 증대되고 있다[1].

플라즈마를 발생시키기 위한 방법으로 화학기상 증착(Chemical Vapor Deposition) 장비에서는 CCP(Capacitively Coupled Plasma) 방식을 사용하고 있으나 플라즈마 집속력에 한계를 가지고 있다. 이에 따라 본 논문에서는 ICP(Inductively Coupled Plasma) 방식의 응용방법을 적용하고자 페라이트 코어를 사용한 ICP 방식 방전관에 Medium Frequency 대역의(300[kHz]~3[MHz]) 고주파 전원을 인가하여 자기장을 발생시키고 변환된 전기장을 통해 플라즈마를 발생시키는 간단한 발생 원리를 기초로 하여 400[kHz] 고주파를 통한 고밀도 플라즈마 발생장치 개발을 소개하고자 한다. LCD 화학증착공정의 진행에 따라 챔버 내부에는 SiO₂ 등의 박막이 코팅되어진다. 내벽에 코팅된 박막을 세정하기 위한 건식 세정방식으로 그림 1과 같은 직접 세정방식이 사용되고 있다. 직접 세정방식은 플라즈마의 발생을 공정용 챔버에서 직접적으로 일으키는 방식으로 챔버 내부에 손상을 줄 뿐 아니라 낮은 분해율로 인하여 지구 온난화 가스가 다량 방출되는 단점을 가

지고 있다[2].

이러한 단점을 보완하고자 그림 2와 같이 챔버와 분리된 별도의 플라즈마 발생장치에서 플라즈마를 발생시켜 반응가스를 이온화시키고 라디칼 이온을 공정용 챔버에 주입시키는 방식을 적용하고자 한다. 이러한 간접 세정방식은 400[kHz] 고주파 전원장치와 페라이트 코어를 이용한 고밀도 플라즈마 발생장치로 구성되어진다. 이를 통하여 장비 세정시간을 2배 이상 크게 감소시켜 에너지 절감효과와 더불어 NF₃, CF₄, C₃F₈, C₂F₆, SF₆ 등의 지구 온난화가스를 98[%]이상(NF₃ 기준) 분해하므로 TFT-LCD 원가절감과 환경 문제 해결에 크게 기여 할 것이다.

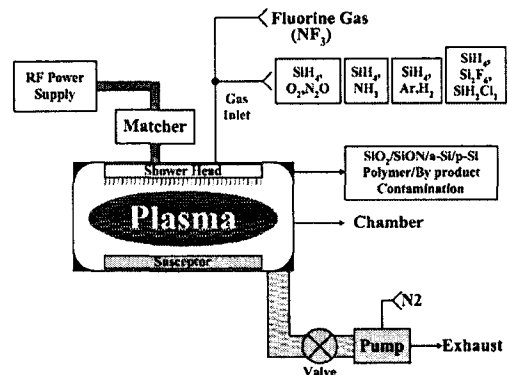


그림 1. 직접 세정 방식
Fig. 1. Direct In situ cleaning method

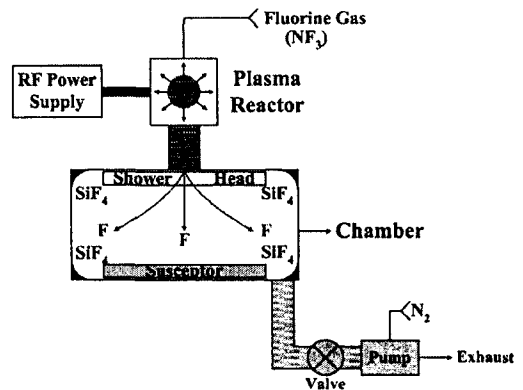


그림 2. 간접 세정 방식
Fig. 2. Remote plasma cleaning method

2. 본 론

2.1 시스템 구성 및 원리

전체 시스템은 그림 3에서 보는 바와 같이 TFT-LCD 공정과정 중 증착공정에 사용되는 PECVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) 장비의 챔버 내부 세정을 위한 플라즈마 발생장치로서 고주파 전원장치, 페라이트 코어 ICP 방식 Reactor로 구분된다. Reactor 내부에 A_r 가스가 유입되고 전원이 공급됨과 동시에 철심의 1차회로에는 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 내벽의 손상을 피할 수 있게 된다[2].

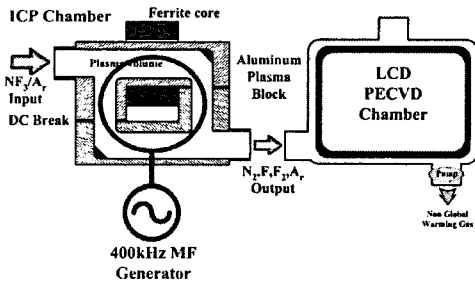


그림 3. TFT-LCD PECVD 장비 세정 시스템
Fig. 3. TFT-LCD PECVD cleaning system

유입된 NF_3 가스는 N_2 , F , F_2 로 분해되고 이때 분해율은 95[%]이상을 유지하게 된다. 분해된 가스는 CVD 챔버내에 유입되고 챔버 내에 존재하는 SiO_2 와 반응하여 SiF_4+O_2 로 재결합됨으로써 세정공정이 수행된다.

2.2 페라이트 코어 유도결합 플라즈마

세정능력은 사용가스의 분해율에서 결정되며 분해율을 높이기 위해서는 강력한 플라즈마의 생성이 요구되어 진다. 기존의 CCP 혹은 ICP 플라즈마 발생방법으로는 $1 \times 10^{11} [EA/cm^2]$ 이상의 고밀도 플라즈마의 안정적인 발생 및 유지가 곤란하다. 따라서 본

논문에서는 페라이트 코어를 적용한 플라즈마 발생 방법을 제안하고자 한다. 그림 4는 400[kHz] 고주파 전원을 인가받아 플라즈마를 발생시키기 위한 원리를 보여주고 있다. 페라이트 코어에 400[kHz] 전류를 인가하면 페라이트 코어 1차측에 H-Field가 발생되고 H-Field에 의한 2차 E-Field가 방전관(Reactor) 내부에 발생하여 플라즈마를 발생시키는 동작 원리로 구성되어진다.

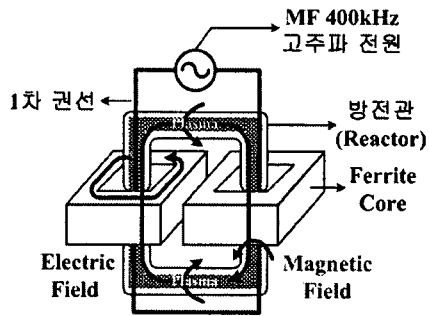


그림 4. 페라이트 코어 유도결합 플라즈마 발생 원리
Fig. 4. Ferrite core ICP generation principle

$$\nabla \times E = -\frac{\partial B}{\partial t} = -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \quad (1)$$

페라이트 코어 유도결합 플라즈마는 기존 유도결합 플라즈마 안테나에 강자성체인 페라이트 코어를 설치하여 플라즈마와 안테나와의 결합(coupling)도를 높일 수 있다. 패러데이 유도 법칙에 의해서 식 (1)과 같이 유도 전기장이 발생된다.

$$\begin{aligned} \nabla \times H &= J + j\omega \epsilon E \\ \nabla \times E &= -j\omega \mu H \end{aligned} \quad (2)$$

맥스웰의 회전방정식은 식 (2)와 같으며 자기장 H는 전류밀도(J)에 비례하며 유도되는 전기장 E는 구동 주파수와 상대 투자율에 비례함을 알 수 있다. 페라이트 코어 유도결합 플라즈마의 경우 구동 주파수가 낮기 때문에 유도 전기장이 약해지지만 상대 투자율이 높은 페라이트를 사용하면 같은 전류에 대해서 고주파에서보다 훨씬 더 큰 전기장을 만들 수 있다. 보통의 페라이트의 투자율은 1,000 이상의 값을 갖는다. 그러므로 플라즈마를 발생시키는데 필요

한 전기장은 거의 일정하므로 훨씬 낮은 전류에서도 플라즈마를 유지할 수 있게 되어 안테나에서 소모되는 파워도 동시에 급격히 줄일 수 있는 장점이 있다.

그림 5는 MnZn계 3F3 재질의 U타입 페라이트 코어를 사용한 유도결합 플라즈마 발생장치의 설계 단면도를 보여주고 있다.

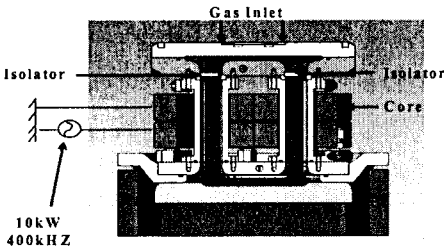


그림 5. 유도결합 플라즈마 발생장치 설계 단면도
Fig. 5. ICP source design section view

2.3 제안한 플라즈마 발생용 고주파 전원장치

페라이트 코어 유도결합 플라즈마 발생을 위해서는 고효율의 고주파 전원장치가 요구되며 국내 산업계에서는 플라즈마 부하에서 안정적인 고주파 출력을 얻기 위하여 대용량 변압기 채용 직류 정류방식 컨버터부와 고주파 전력소자를 채용한 인버터부의 2단 구성을 사용하고 있으나 이는 전력효율이 현저히 떨어지는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 범용 전력소자를 사용한 인버터 1단구성을 통하여 플라즈마 부하에서도 안정적인 영전압 스위칭으로 운전되는 고주파 전력 변환 장치를 제안하고자 한다. 주 전력회로는 하프 브리지 PWM 인버터로 구성되어 있으며 2개의 주스위치 모두 영전압 스위칭으로 동작한다. 그림 6은 플라즈마 발생을 위해 요구되는 400[kHz] 고주파 전원 공급을 위한 전원장치의 구성도를 나타내었다.

3개의 L, C 수동소자로 구성된 저역통과필터는 하프 브리지 인버터 출력의 고주파 성분을 제거하여 주파수 특성을 향상시킨다. 10[kW]의 고효율 확보를 위해서는 전력 모듈의 결합이 필요하며 본 논문에서는 고주파 전력의 안정적인 결합을 위하여 그림

7과 같이 저역통과필터의 초단 인덕터 L1을 전력 모듈에 분산 배치하는 방법을 통하여 플라즈마 부하에서 안정적인 동작을 확인할 수 있었다.

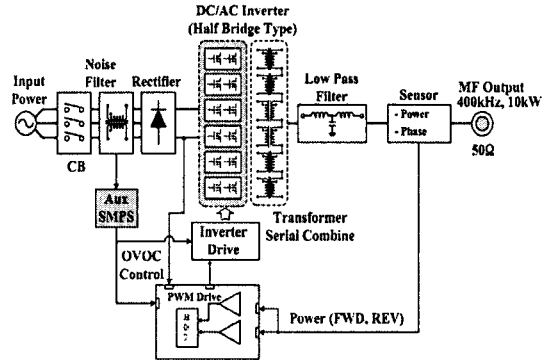


그림 6. 제안한 고주파 발생장치 구성도
Fig. 6. RF generator circuit block diagram

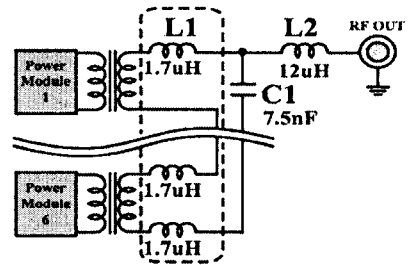


그림 7. 저역필터 소자 분산 배치 구성
Fig. 7. Dispersion arrangement construction of LPF element

고주파 전원장치는 항상 최대 시비율로 운전하게 되어 있으며 플라즈마의 발생을 용이하게 하기 위하여 운전 초기에는 Ar 가스를 투입하여 초기 플라즈마를 발생하고 세정공정을 위하여 NF3 가스를 투입하게 된다. NF3 가스 투입후 플라즈마가 발생하는 순간 고주파 전원장치 입장에서 부하가 단락된 상태와 거의 유사하게 된다. 이후 NF3 가스의 양을 증가시키면 고주파 전원 장치의 출력이 증가된다. 즉 NF3 가스의 압력에 따라 고주파 전원장치 측에서 보면 부하 임피던스가 변하는 형태로 반영된다.

2.3.1 하프 브리지 인버터

그림 8은 하프 브리지 형태의 400[kHz] 고주파 전

원장치 인버터단의 회로구성과 모드해석을 위해 변압기 1차측의 전압 V_{AB} 와 1차측 전류 I_L 파형을 나타내었다. 인버터의 출력은 스위치 Q1, Q2의 게이트 신호의 시비율을 변화시킴으로 제어할 수 있다.

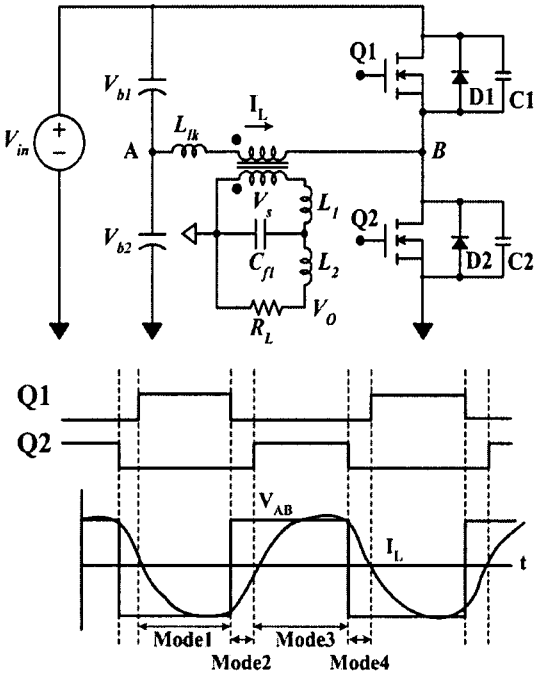


그림 8. 하프 브리지 방식을 이용한 플라즈마 전원장치의 회로와 변압기 1차측 전압 전류파형
Fig. 8. Voltage and current wave form of transformer and power stage circuit of plasma power supply using half bridge topology

2.3.2 모드별 운전 특성

정상 상태에서의 동작을 해석하기 위하여 그림 8에 나타난 바와 같이 한 주기를 4개의 동작 모드로 구분 하였다. 그러나 한 주기 동안의 동작 중 1-2 모드 동안의 반주기 동작은 3-4 모드 동안의 다른 반주기 동작과 대칭을 이루게 된다[3-4].

◆ 모드 1 : 모드 1 이전 상태에서, 스위치 Q1의 바디 다이오드 D1이 도통 된 후 스위치 Q1은 영전압 상태에서 도통되며 이때 변압기의 1차측 에너지가 변압기의 2차측으로 전달된다. 모드 1의 등가회로로부터 다음의 방정식을 유도할 수 있다.

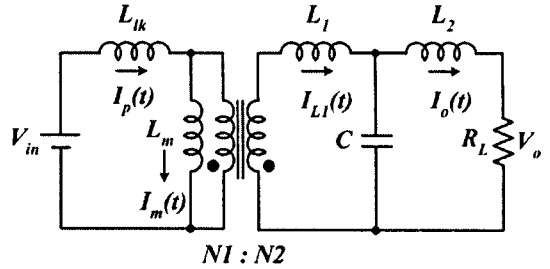


그림 9. 모드 1
Fig. 9. Mode 1

$$V_{in} = L_{lk} \frac{di_p(t)}{dt} + L_m \frac{di_m(t)}{dt} \quad (2)$$

$$i_p(t) = i_m(t) + i_{L1}(t) \quad (3)$$

$$L_m \frac{di_m(t)}{dt} = L_1 \frac{di_{L1}(t)}{dt} + V_c(t) \quad (4)$$

여기서 $N_1/N_2 = 1$

$$i_{L1}(t) = i_c(t) + i_o(t) \quad (5)$$

$$V_c(t) = L_2 \frac{di_o(t)}{dt} + i_o(t)R \quad (6)$$

$$C \frac{dV_c(t)}{dt} = i_{L1}(t) - i_o(t) \quad (7)$$

◆ 모드 2 : 스위치 Q1이 차단되고 다이오드 D2가 도통될 때 누설 인덕턴스 L_{lk} 에 축적되었던 에너지는 다이오드 D2를 통하여 회생된다. 변압기 1차측과 2차측은 전기적으로 분리된 상태가 된다. 모드 2의 등가회로로부터 다음의 방정식을 유도할 수 있다.

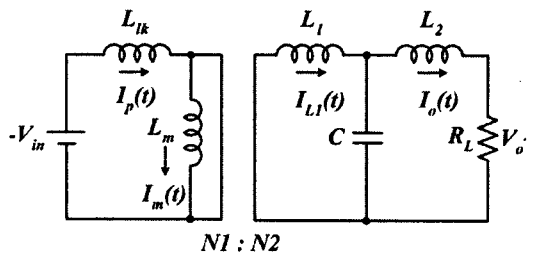


그림 10. 모드 2
Fig. 10. Mode 2

$$-V_{in} = L_k \frac{di_p(t)}{dt} \quad (8)$$

$$L_1 \frac{di_{L1}(t)}{dt} + V_c(t) = 0 \quad (9)$$

$$i_{L1}(t) = i_c(t) + i_o(t) \quad (10)$$

$$V_c(t) = L_2 \frac{di_o(t)}{dt} + i_o(t)R \quad (11)$$

$$C \frac{dV_c(t)}{dt} = i_{L1}(t) - i_o(t) \quad (12)$$

◆ 모드 3 : 누설 인덕턴스 L_k 에 축적된 에너지는 다이오드 D2를 통하여 완전히 방전된다. 변압기의 1차전류 I_1 이 영이 된 후 전류 $i_p(t)$ 는 스위치 Q2를 통하여 흐른다. 이때 스위치 Q2는 영 전압 도통을 하게 되며 1차측의 에너지가 2차측으로 전달된다. 모드 3의 등가회로로부터 다음의 방정식을 유도할 수 있다.

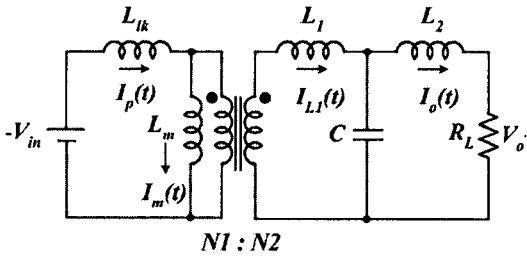


그림 11. 모드 3
Fig. 11. Mode 3

$$-V_{in} = L_k \frac{di_p(t)}{dt} + L_m \frac{di_m(t)}{dt} \quad (13)$$

$$i_p(t) = i_m(t) + i_{L1}(t) \quad (14)$$

$$L_m \frac{di_m(t)}{dt} = L_1 \frac{di_{L1}(t)}{dt} + V_c(t) \quad (15)$$

$$i_{L1}(t) = i_c(t) + i_o(t) \quad (16)$$

$$V_c(t) = L_2 \frac{di_o(t)}{dt} + i_o(t)R \quad (17)$$

$$C \frac{dV_c(t)}{dt} = i_{L1}(t) - i_o(t) \quad (18)$$

◆ 모드 4 : 스위치 Q2가 차단되고 스위치 Q1의 바디 다이오드 D1이 도통된다. 이때 누설 인덕턴스 L_k 에 축적된 에너지는 다이오드 D1을 통하여 회생되고 변압기의 1차측과 2차측은 전기적으로 분리된 상태가 된다. 모드 4의 등가회로로부터 다음의 방정식을 유도할 수 있다.

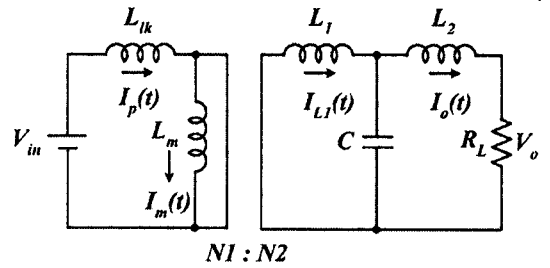


그림 12. 모드 4
Fig. 12. Mode 4

$$V_{in} = L_k \frac{di_p(t)}{dt} \quad (19)$$

$$L_1 \frac{di_{L1}(t)}{dt} + V_c(t) = 0 \quad (20)$$

$$i_{L1}(t) = i_c(t) + i_o(t) \quad (21)$$

$$V_c(t) = L_2 \frac{di_o(t)}{dt} + i_o(t)R \quad (22)$$

$$C \frac{dV_c(t)}{dt} = i_{L1}(t) - i_o(t) \quad (23)$$

3. 모의실험 및 실험결과

그림 8의 회로를 이용하여 하프 브리지 방식을 이용한 플라즈마 전원장치의 모의실험 및 실험을 수행하였다. 모의실험은 30[%] 시비율에서 수행하였으며 챔버 실험은 최대 출력 시 (6.5[kW]) 정상상태 특성 실험을 수행하였다. 실제로 제작한 실험 시스템에 사용된 변수 값은 표 1과 같다.

표 1. 하프 브리지 방식 플라즈마 전원 시스템 사양 및 적용 변수 값

Table 1. Parameters in the experimental and simulation setup using half bridge topology

Input voltage(V_{in})	220VAC
Rated Power(P_o)	10[kW]
Main Switch	APT5020
Switching frequency	400[kHz]
Leakage inductance	0.29[uH]
PWM IC	UC3825
Filter L1	12[uH]
Filter L2	12[uH]
Filter C	7[nF]

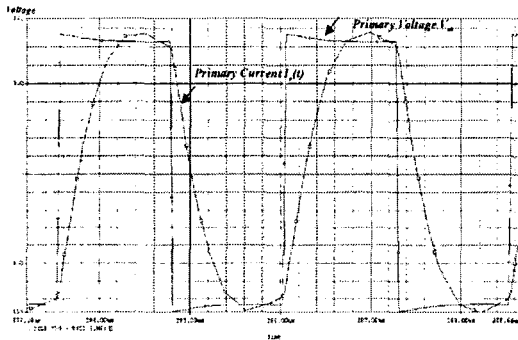


그림 13. 변압기 1차측의 전압, 전류 모의실험 파형
Fig. 13. Voltage and current simulation wave forms of the transformer

그림 13은 모의실험 파형으로 변압기 1차측의 전압파형과 변압기 1차 전류의 파형을 나타내었고 그림 14는 2[kW] 출력 시 변압기 1차측의 전압 파형과 변압기 1차측 전류의 실험 파형을 나타내었다.

그림 15는 모의실험 파형으로 주 스위치 Q1의 전압파형과 전류의 파형을 나타내었고 그림 16은 주 스위치 Q1의 전압파형과 전류의 실험파형을 나타내었다. 이 전압 전류 파형을 통하여 영전압 스위칭이 이루어짐을 확인할 수 있다.

그림 17은 모의실험 파형으로 고주파 출력 전압 파형이며 그림 18은 고주파 출력 전압 실험파형을 나타내었다. 그림 19는 본 논문의 연구결과로 제작된 400[kHz] 10[kW] 고주파 전원장치의 내부 구성 도이며 그림 20은 플라즈마 실험 장치이다. 그림 21

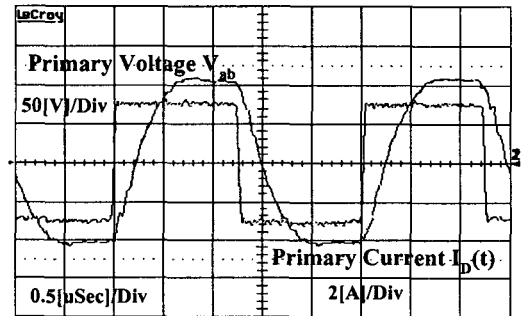


그림 14. 변압기 1차측의 전압, 전류 실험 파형
Fig. 14. Experimental voltage and current wave forms of the transformer

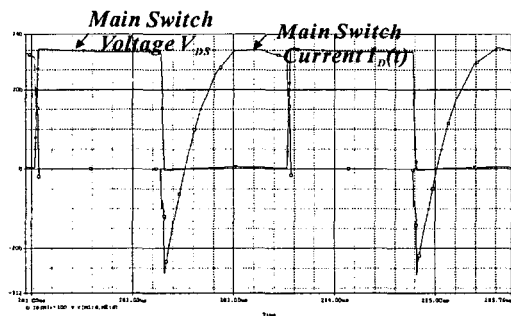


그림 15. 스위치 Q1의 전압, 전류 모의실험 파형
Fig. 15. Voltage and current simulation wave forms of main switch Q1

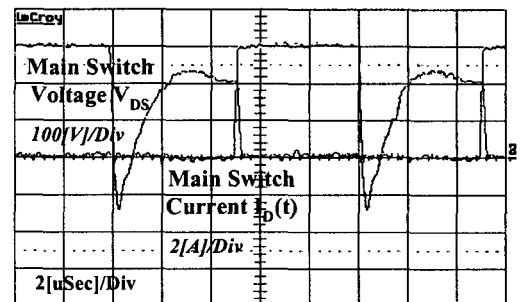


그림 16. 스위치 Q1의 전압, 전류 실험 파형
Fig. 16. Experimental voltage and current wave forms of main switch Q1

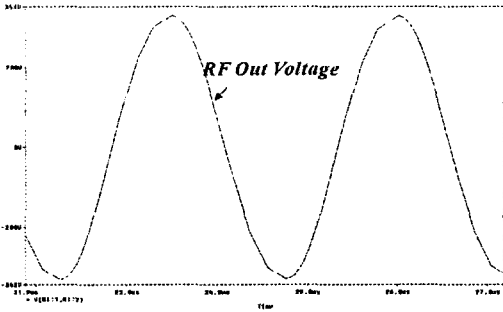


그림 17. 고주파 출력 전압 모의실험 파형
Fig. 17. Simulation output voltage waveform of radio frequency supply

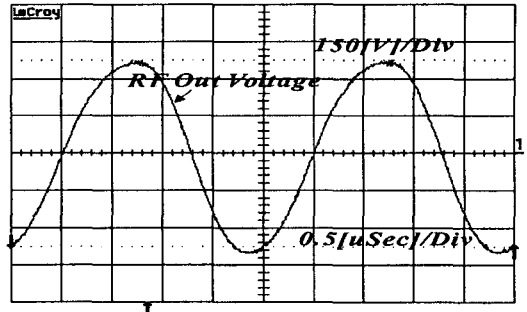


그림 18. 고주파 출력 전압 실험 파형
Fig. 18. Experimental output voltage waveform of radio frequency supply

은 세정 공정시 발생 플라즈마를 진단하고자 아르곤 가스의 압력을 변화시키며 입력 전력에 따른 전자밀도를 Langmuir Probe로 측정된 결과를 나타내었다. 입력 전력에 따라 전자밀도가 거의 선형적으로 비례하여 증가되는 것을 확인하였다.

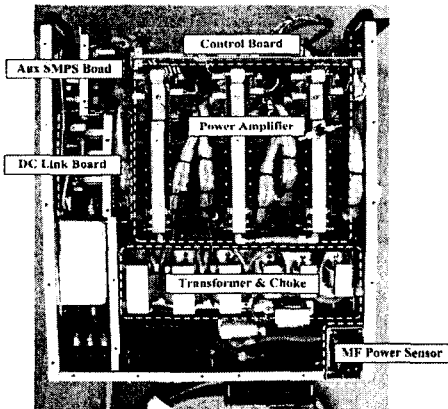


그림 19. 고주파 전원장치 내부 구성
Fig. 19. RF generator inside construction

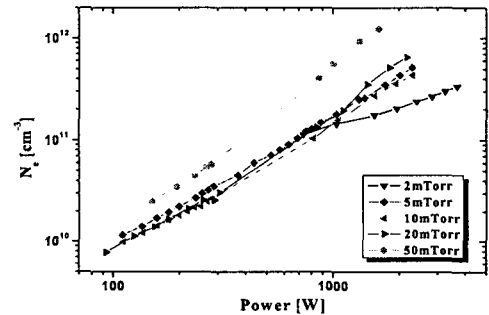


그림 21. 플라즈마 밀도 측정 결과
Fig. 21. Measurement result of plasma density

측정된 값은 기존 13.56[MHz] 유도결합 플라즈마에 비해 약 2배 이상의 고밀도 플라즈마이다.

이 고밀도 플라즈마를 이용하여 NF₃ 가스의 분해율을 확인하고자 표 2의 조건에서 FT-IR(Fourier Transform-Infrared Spectroscopy)로 측정된 실험 결과를 나타내었다.

표 2. FT-IR에 의한 실험 결과
Table 2. Experiment data by FTIR

NF ₃ ([sccml])	Ar ([sccml])	Pressure ([Torr])	Power ([W])	FTIR(ppm)		분해율 (%)
				전	후	
4,000	4,000	4	6,000	164,500	2,200	98.7
5,000	4,000	4	7,200	192,800	4,000	98.0
6,000	4,000	4	8,800	217,000	5,300	97.6
7,000	4,000	5	9,300	238,200	5,500	97.7
8,000	4,000	5	10,000	257,600	5,700	97.8

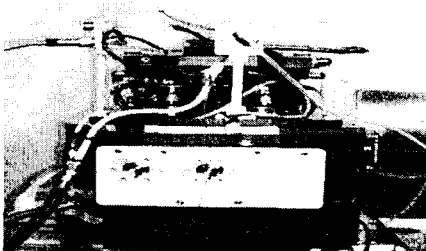


그림 20. 플라즈마 실험 장치
Fig. 20. Plasma Experiment Equipment

400[kHz] 구동 주파수와 페라이트 코어를 사용한 유도결합 플라즈마 발생장치를 사용하여 공정 실험을 한 결과 5[Torr] 이하의 압력에서도 95[%] 이상의 NF_3 가스 분해율을 유지함으로써 높은 세정효율 및 PFC 가스의 세정효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

4. 결 론

화학적 기상 증착(CVD) 공정에 있어 높은 세정효율과 환경 유해 가스를 효과적으로 세정하기 위한 친환경 세정방법을 소개하고 고밀도 플라즈마 발생을 위해 기존의 유도결합 플라즈마 방식에 페라이트 코어를 적용하여 새로운 플라즈마 발생방법을 연구하였다. 플라즈마 발생을 위한 전원장치로서 400[kHz] 고주파 전력 회로부를 모드해석을 통해 설계하고 실험을 통하여 2개의 주 스위치가 모두 영전압 조건에서 동작되고 있음을 확인하였다. 400[kHz], 10[kW] 고주파 출력전력을 페라이트 코어 유도결합 플라즈마 리액터에 인가하여 기존 ICP에 비해 2배 이상의 밀도를 가진 플라즈마 발생을 확인하였으며 정격출력 10[kW]하에서 NF_3 가스의 분해율이 95[%]이상 분해됨을 실험을 통해 확인함으로써 TFT-LCD PECVD 장비 세정에 있어 높은 세정효율 및 PFC 가스의 세정효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

References

- [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, Page(s):107-113.
- [2] 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.
- [3] 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, Volume2, 9-14 Nov. 1997 Page(s): 786-791.
- [4] 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.

◇ 저자소개 ◇

이정호 (李正鎬)

1971년 10월 19일생. 1996년 순천향대 전기공학과 졸업. 1998년 성균관대 메카트로닉스공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학부 박사과정 수료. 2000년 10월~2002년 12월 현대중합금속 기술연구소 주임연구원. 2003년 1월~현재 (주)뉴파워 프라즈마 기술기획팀장.

최대규 (崔大圭)

1961년 6월 6일생. 1987년 서울산업대 전기공학과 졸업. 2000년 서울산업대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 성균관대 일반대학원 메카트로닉스 공학과 졸업(박사). 1993년 12월~현재 (주)뉴파워 프라즈마 대표이사.

김수석 (金濼石)

1959년 1월 16일생. 1984년 서울산업대 전기공학과 졸업. 1989년 한양대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 한양대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1984년~현재 서울산업대 전기공학과 조교.

이병국 (李秉國)

1968년 12월 25일생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 미국 Texas A&M University 전기공학과 졸업(박사). 2001년 12월~2003년 1월 미국 Texas A&M University Postdoctoral Research Associate. 2006년 3월~현재 성균관대 정보통신공학부 조교수.

원충연 (元忠淵)

1955년 5월 10일생. 1978년 성균관대 전기공학과 졸업. 1980년 서울대 공대 대학원 전기공학과(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 12월~1992년 12월 미국 테네시주립대학 전기공학과 방문교수. 2003년 1월~2004년 12월 전력전자학회 부회장. 1988년~현재 성균관대 정보통신공학부 교수.