

식각장비의 RF 정합모듈 성능 개선

설용태^{1*}, 이의용², 권혁민²

Matching Improvement of RF Matcher for Plasma Etcher

Sul Yong Tae^{1*}, Lee Eui Yong² and Kwon Hyuk Min²

요약 본 논문에서는 반도체 소자와 디스플레이 패널의 제조공정에 사용되는 플라즈마 식각장비의 RF 정합특성을 개선하기 위한 모듈을 제안하였다. 구동부의 기구 중 베벨기어를 원기어로 새롭게 설계 제작하고 제어부도 원칩 마이크로 프로세서를 이용하여 재구성하였다. 개발된 모듈은 기존의 정합장치보다 다양한 공정변수에 대한 능동적인 대처가 가능하고, 모터의 흐름현상 등을 개선함으로써 RF 정합특성이 개선되어, 플라즈마 식각공정의 생산성을 향상시킬 수 있음을 보였다.

Abstract New RF matcher module has been proposed in this paper for improvement of RF matcher in plasma etcher system using in semiconductor and display panel manufacturing process. New designed warm gear was used instead of bevel gear in new driving module, and control system was re-arranged with one-chip micro-process technique. The matching performance of new match module was improved in various process condition with reduction of backlash and matching time, and flexible motion of motor compared commercial match module. However this new type RF match module will improve the productivity in etching process of the mass production line.

Key Words : plasma, RF Matcher, semiconductor

1. 서론

반도체소자와 디스플레이 패널의 제조공정에서 식각(Etching), 증착(PECVD, PVD)등에 주로 이용되고 있는 플라즈마는 최근에는 도핑(Doping), 이온 주입(Plasma Source Ion Implantation)등에도 응용되고 있다. 플라즈마를 발생하기위한 전원으로는 주로 RF 발생기와 TCP/ICP 등 여러 가지가 있는데, 13.56[MHz]의 RF(Radio Frequency) 발생기가 주로 이용되고 있다. RF 발생기에서 발생한 전력을 공정챔버 내로 최대한 전송하기 위해서는 RF 발생기 내부의 임피던스와 전송선로의 임피던스 및 챔버 내부의 플라즈마 임피던스가 같아야 한다.

그러나 챔버 내부의 임피던스는 플라즈마 밀도, 공간 균일성 및 화학종 등의 변화로 용량성 또는 유도성 능동 임피던스를 갖게 된다. 이는 RF 발생기의 특성임피던스

가 다르기 때문에 RF 발생기로부터 챔버 내로의 전송전력을 최대화하고, 플라즈마를 공간적으로 균일하고 안정하게 유지하는 것이 필요하다. 이를 위해서 챔버 앞단에 임피던스를 정합기(Matcher)를 설치하며 초기 정합시간과 균일성(Uniformity) 등이 공정의 수율과 생산성 등에 크게 영향을 미치는 중요한 역할을 담당한다. 특히 최근 300[mm] 웨이퍼와 대형 LCD 기관 제조공정 등을 위해서는 대면적 플라즈마의 균일도 확보와 다양한 공정에 능동적으로 대응가능 한 고효율의 RF 정합기가 요구되고 있다[1,2].

이에 따라서 지금까지는 주로 정합기의 수명을 연장하는 기구적인 부분에 치중하였으나 최근에는 다양한 공정 조건과 대면적 플라즈마의 균일성 유지에 중점을 두고 연구개발이 진행되고 있다. 즉 고조파 성분을 제거하기 위해서 고조파 필터를 채용하는 기법, 다이오드를 이용한 Fixed 정합방식, 적응알고리즘을 이용하여 반사전력에 의한 손실을 RF 발생기로부터 보완하는 기법 등 여러 가지 정합방식이 개발되고 있다[3,4].

현재 정합기의 성능을 저해하는 요인으로는 고전력을 견딜 수 있는 대용량 정합소자의 부재, 임피던스 조정범위의 한계성, 소자 열화 및 아킹 등에 의한 수명단축, 정

본 논문은 호서대학교 교내연구비의 지원에 의하여 연구되었음.

¹호서대학교 전기공학과

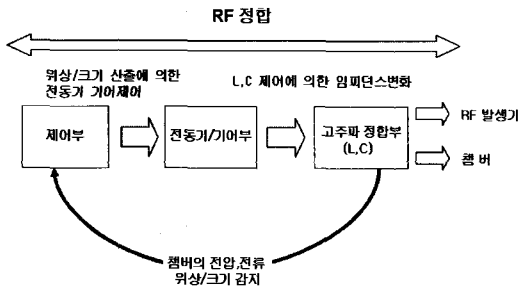
²(주)에이티에스 부설연구소

*교신저자: 설용태(ytsul@office.hoseo.ac.kr)

확한 임피던스 변화를 유지하기 위한 모터와 기어의 부정밀도(백러쉬, 경년변화)문제, AD/DA 컨버터 기능의 내장 소자로 인한 기준전압의 흔들림 현상(모터의 흐름 현상), CPU의 처리속도 저하로 인한 초기 과도 임피던스 정합기간의 과도현상 발생 등의 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해서 본 연구에서는 고전력을 견딜 수 있는 부품의 개발과 최소의 손실을 갖는 정합소자(가변 인덕터, 캐패시터)의 구조변화를 통한 임피던스 조정범위 확대, 모터 제어 프로그램을 통한 정밀도 및 응답속도 향상, 기어의 최적설계(베벨기어에서 웬기어로 구조 설계)를 통한 백러쉬 및 경년변화에 대응, 고용량의 원칩 마이크로 프로세서를 사용하여 다양한 공정변수에 대한 능동적인 대처와 AD/DA 컨버터 소자의 성능 개선을 통한 모터의 흐름현상을 제거 등 정합기의 성능개선을 위한 기법을 제시 하였다.

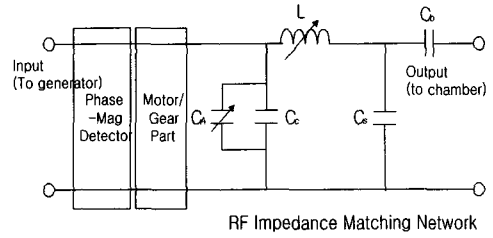
2. RF 정합기의 구성

RF 정합기는 그림 1과 같이 정합소자인 인덕턴스와 커패시턴스로 구성된 고주파 정합 모듈과 이들 소자를 구동하기위한 전동기와 기어로 구성된 기구부 및 구동부를 제어하는 제어부 등 3부분으로 구성된다.



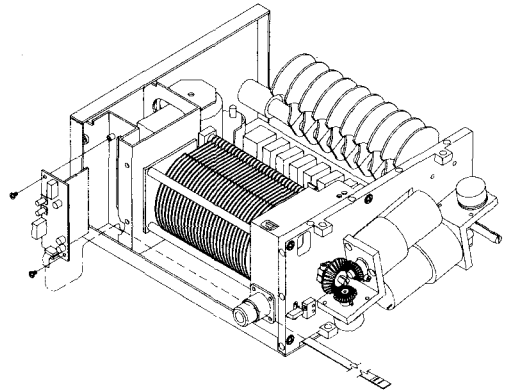
[그림 1] RF 정합기의 구성도

고주파 정합 모듈은 임피던스 정합을 위한 소자인 가변 인덕터와 커패시터, RF 신호에 더해지는 DC를 차단하기위한 DC 차단 커패시터, DC 바이어스 전압을 감지하는 DC 바이어스 저항 string으로 구성되며 그림 2와 같은 회로로 표현된다. 이는 RF발생기와 챔버 사이에서 발생하는 임피던스 부정합으로 인해 발생하는 전력손실과 반사전력에 의한 정합기의 오동작과 동작실패를 방지하는 기능을 한다.



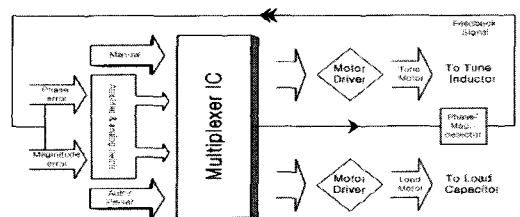
[그림 2] 고주파 정합 모듈 회로도

챔버 내의 미세한 환경변화(공정조건, 온도 및 열변화 등)에 의해서 챔버의 임피던스가 변하는데 이러한 임피던스변화가 RF 발생기와 챔버의 임피던스를 부정합시키는 원인이 된다. 이러한 부정합을 조정하기 위한 구동부인 전동기와 기어부는 그림 3과 같이 2개의 가변 전동기와 전동기의 회전력을 고주파 정합회로단에 전달하는 기어로 구성되어 고주파 회로단의 정합소자인 가변 인덕터와 커패시턴스의 값을 기계적으로 변화시켜 RF 발생기와 챔버 간의 임피던스를 정합시키는 기능을 한다[5,6].



[그림 3] RF 정합기의 기구도

제어부는 임피던스의 변화에 따른 전압과 전류의 위상차와 크기를 감지하여 고주파 정합부의 인덕턴스와 커패시턴스를 적절히 조정하도록 구동부에 지시를 하는 기능을 갖는다.

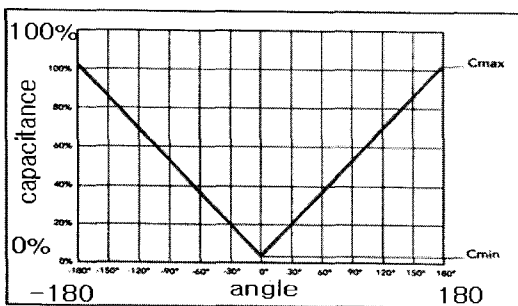


[그림 4] 정합기 제어 개념도

3. 정합기의 성능 개선

3.1 정합용량의 개선

정합단의 구성을 위한 정합소자는 크게 공기 커패시터의 사용 또는 진공 커패시터나 가스 커패시터를 사용하는 세가지 방식으로 구성되며 일반적으로 공기 커패시터는 저전력의 특징을 갖고며 경량화, 소형화가 가능하여 Etch 공정, CVD 공정의 저전력을 요하는 장비에 많이 사용된다. 그러나 이러한 공기 커패시터는 열화에 따른 특성변화, 비교적 짧은 수명주기, 저정밀도 등의 문제점이 있다. 반면 진공 커패시터는 고전력에 적합하며 정밀도가 높기 때문에 고전력, 고정밀성을 요하는 공정에 많이 사용된다. 그러나 이러한 형태의 소자는 단가가 매우 비싸고, 부피가 크며 중량이 무겁고 또 turn 수가 많기 때문에 제어하기 불편한 점이 있다. 마지막으로 가스 커패시터는 경량화, 소형화가 가능하며, 냉매로 SF6 가스를 사용하므로 열화에 따른 특성이 좋고, 비교적 수명이 길며, 고전력, 고정밀성을 요하는 공정에 사용하기 적합하다. 현재 정합기에 사용 중인 대부분의 커패시터 정합소자는 공기 커패시터로서 사용주기가 짧고(6개월에서 1년) 임피던스 부정합으로 인한 아크현상이 발생하는 등 문제점이 많다. 또한 반도체 소자와 디스플레이 패널의 제조공정이 대규모 고정세화, 대면적화 됨에 따라서 제조장비 역시 대용량의 RF 정합기가 필요하게 되었다. 이러한 대용량화에 대응하기위해서 본 연구에서는 기존의 공기 커패시터를 가스 커패시터로 교체하였으며 주요 특성은 아래와 같다.



[그림 5] 가스 커패시터의 특성

가스 커패시터는 comet사의 CVXC 커패시터로 용량은 70~1600[pF], Peak Test Voltage 3[kV], SF6 가스 사용, 가변범위 180°로 기존 공기 커패시터에 비해 열화, 아킹 방지, 대용량화 등의 장점이 있다.

3.2 기구부의 성능개선

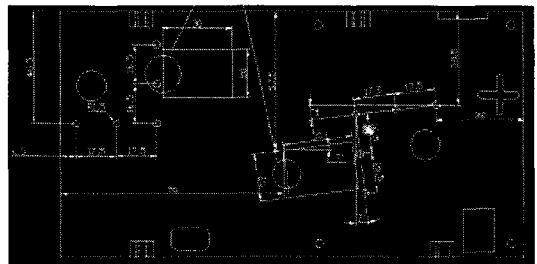
챔버내의 미세한 환경 변화(공정변화, 온도, 열)에 의

해서 챔버의 임피던스는 변화되며, 이러한 임피던스 변화에 신속한 대체가 이루어 지지 않을 때는 RF 소스와 챔버의 임피던스를 부정합 시키는 요인이 된다. 모터 및 기어단은 2개의 가변모터와 모터의 회전력을 고주파 정합 회로단에 전달하는 기어로 구성되며, 고주파 회로단의 정합소자인 가변 인덕터와 커패시터의 값을 기계적으로 변화시키는 방법으로 RF 소스와 챔버간의 임피던스 정합을 유도하는 작업을 한다.

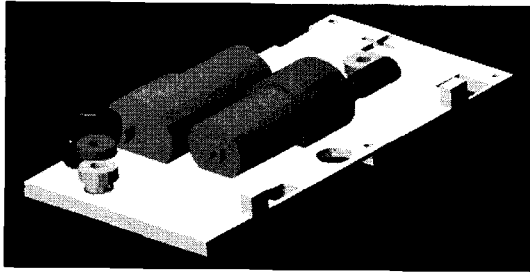
현재 상용되는 모터 및 기어단의 문제점은 정확한 임피던스 변화를 유지하기 위한 모터와 기어의 정밀도와 챔버내의 미세한 임피던스 변화에 따른 정합단 임피던스 변화에 많은 시간이 소요되며, 정합된 임피던스를 유지하기 위한 모터와 기어 출력 부족으로 인한 기어 맞물림의 문제가 발생하며 또한 모터의 회전력을 고주파 정합 단으로 전달하는 기어 구조가 복잡하여 효율이 저하 되는 문제점이 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 모터 및 기어단의 가변 리액터와 커패시터의 구동 속도의 증대를 위한 구조 연구와 에너지 전달 효율을 높일 수 있는 최적 설계를 통하여 구동 효율을 개선 시켜야 한다. 상기의 문제점의 개선을 위하여 본 논문에서는 베벨기어에서 웜기어로 대체 제작하여 실험을 하였다. 베벨기어는 기어의 복잡함과 감속기 사용으로 인한 효율의 저하 및 기어의 구조적인 특성으로 인한 백러쉬의 발생으로 인한 반사 전력 발생 등의 문제점을 가지고 있다. 이를 웜기어로 교체 제작함으로써 기어 구조를 최적화 시켜 에너지 전달 효율을 높일 수 있었으며, 잦은 정/역 운전에 적합한 웜기어의 설계로 백러쉬를 제거 할 수 있었다.

전동기와 기어부는 그림 6과 같이 최적설계를 위한 가상 시뮬레이션 기법을 이용함으로써 시행착오로 인한 개발기간을 단축할 수 있었으며, 이를 바탕으로 국내 전문 업체에서 설계제작 하였다.



(a) 모터의 기어단의 제작도면



(b) 설계 시뮬레이션

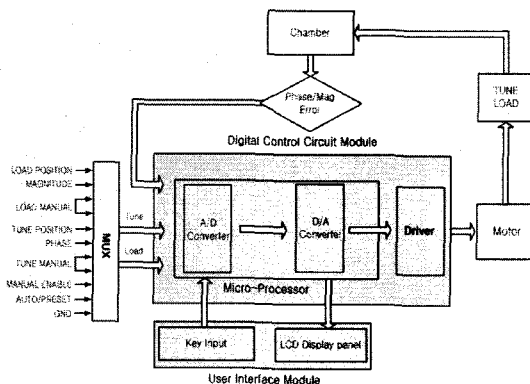
[그림 6] 모터 및 기어단의 최적설계 도면

3.3 제어부의 성능개선

현재 아날로그 제어단은 제어회로의 유연성 부족으로 인하여 공정변화에 따른 동작 조건의 가변이 어렵고, 모든 제어신호와 피드백 신호가 아날로그로 처리되므로 경년변화에 따라 특성의 변화가 발생되며 이는 공정의 손실을 초래한다. 또한 RF 정합기의 지시창 부재로 RF 정합기 및 공정조건의 실시간 파악이 어렵다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 멀티 프리셋(multi-preset), 이득조절 등의 다양한 부가 기능을 갖는 디지털 방식의 제어단을 개발하여 RF 정합기 성능을 개선하였고, LCD 모듈의 부착으로 정합기 및 장비의 공정 상태의 파악이 가능하도록 하였다.

디지털 제어단에는 가변대 성능비가 우수하면서 8비트의 CPU 내에 8채널의 10비트 D/A컨버터, ROM, RAM, EEPROM을 내장하고 있는 단일 칩(one-chip) 마이크로 컨트롤러를 사용하였다. 그리고 아날로그 신호를 디지털신호로 변환하기 위한 A/D인버터를 채용하였고 사용자에게 의해 멀티-프리셋을 설정할 수 있도록 하였으며, 인터페이스를 위한 LCD모듈을 장착하였다.

제어부의 구성을 블록도로 나타내면 그림 7과 같다.

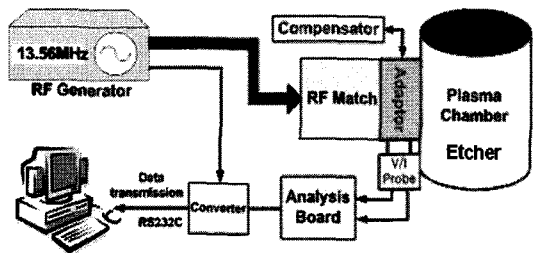


[그림 7] 제어부의 구성 블록도

RF 정합기 제어단은 메뉴얼 모드, 프리셋 모드, 오토 모드의 3가지 모드로 동작된다. 메뉴얼 모드는 정합단의 기본 동작을 테스트하기 위한 수동 동작 모드이며, 프리셋 모드와 오토 모드가 실제 공정 중에 사용되는 모드이다. 실제 공정에서는 임피던스 정합시에 프리셋 모드 후 오토 모드로 동작을 한다. 오토 모드의 동작은 챔버의 전압과 전류를 검출하는 제어회로에서 검출된 신호가 피드백되어 최대 전력전송이 가능한 위치로 Load 와 Tune을 위치시킨다. 프리셋 모드는 공정 진행상에서 정합단의 임피던스 정합 성능에 매우 큰 영향을 미치는 중요한 인자로 설정 값에 따라 임피던스 정합 시간에 큰 차이가 있다. 디지털 제어단의 성능 및 신뢰성 평가는 AM사의 P-5000시스템과 ENI V/I Probe를 사용하여 수행하였다.

4. 성능시험 결과

개발된 정합기의 성능 시험을 위해서 AM사의 8"웨이퍼 양산용 식각장비에 적용하였으며 구성도는 그림 8과 같다.

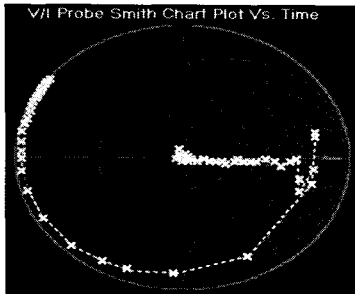
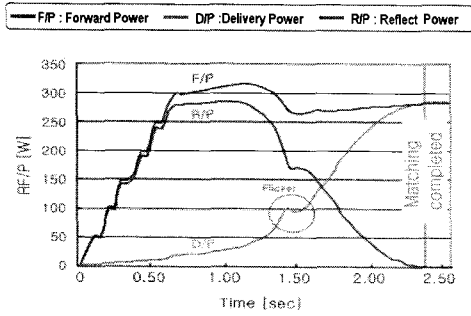


[그림 8] 성능시험 시스템 구성도

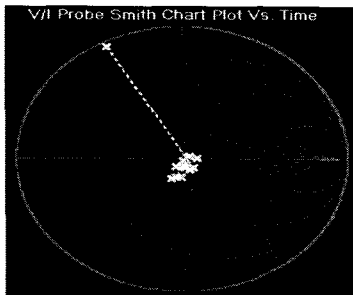
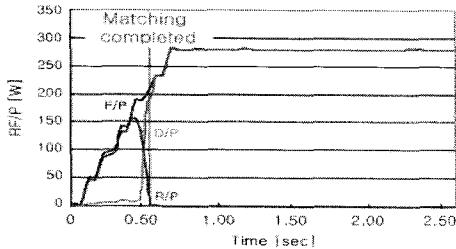
[표 1] 시험 공정 조건

RF 전력 [W]	압력 [mmTorr]	자장 [G]	가스
280	120	30	N ₂ (100 Sccm)

성능시험은 표 1과 같은 조건에서 하였으며 RF 정합 특성 시험 결과는 그림 9, 10과 같다.



[그림 9] 기존 정합기의 정합특성



[그림 10] 개발 정합기의 정합특성

그림에서 보면 새로운 RF 정합기가 기존의 정합기에 비해서 초기 정합시 발생하는 과도현상이 현저히 감소하였고, 백러쉬를 효과적으로 제거함으로써 임피던스 부정합시 나타나는 전동기의 떨림 현상도 제거되었다. 또한 반사전력도 감소하였으며 임피던스 정합시간도 현저히 단축되어 개발된 정합기의 성능 향상을 입증할 수 있었다. 표 2에 기존 정합기와 개발 정합기의 특성을 비교하였다.

[표 2] 정합기 특성 비교

구분	기존 정합기	개발 정합기	비교
제어기	아날로그타입	디지털타입	인터페이스
기어타입	베벨기어	웜기어	백러쉬제거
커패시터	공기타입	가스타입	대용량, 고성능
반사전력	2[W] 이내	1[W] 이내	new 컨트롤러
정합시간	2[sec] 이내	1[sec] 이내	모터, 기어,
용량	3[kW]	5[kW]	가스커패시터
수명	6개월	6개월 이상	가스커패시터

5. 결론

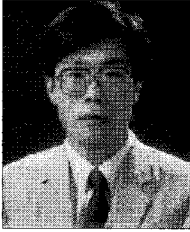
본 연구에서는 현재 반도체 소자제조를 위한 플라즈마 식각공정에서 주로 이용되고 있는 RF 정합기의 성능개선을 위한 새로운 정합기를 설계 제작하였다. 백러쉬에 기인한 정합소자의 떨림 현상과 기어의 탈조 현상들을 기어를 웜기어로 교체하는 등 기구부를 재설계하여 제거할 수 있었다. 기존의 아날로그 방식의 제어부를 디지털 방식으로 바꾸어 정합시간을 단축하고 반사전력과 전동기의 흐름현상을 감소하고, 다양한 공정조건에도 적용이 용이하게 하였다. 이러한 결과는 시험시스템을 이용한 성능 시험결과 입증할 수 있었으며, 제어부의 기본 개념 등은 RF정합기가 사용되는 반도체/디스플레이 제조공정 장비에 적용가능 할 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] Y.T.Sul, J.H.Kim, Y.H.Park(2001), "Enhanced HE RF match with digital control," ET Conference (AM). pp.245-249.
- [2] 설용태, 이의용, 박성진(2003), "플라즈마 공정 챔버의 임피던스 측정을 위한 Adaptor 개발," 한국 산학 기술학회 춘계학술발표 논문집. pp.247-249.
- [3] 박성진, 김원기, 이의용, 설용태, 김준형, 박영휘, 채희상, 전석울, 윤덕용(2003), "RF Matcher의 성능개선 연구," 한국 반도체장비학회 춘계학술대회 발표논문집. pp.71-73.
- [4] Chris Bowick(1997), "RF Circuit Design," Newnes. pp.66-97
- [5] 강성용, 박의석, 박중구(2005), "2005 부품소재 로드맵(반도체, 디스플레이장비부품)," 한국산업기술재단. pp.4-14.
- [6] Wes Hayward(2004), "Radio Frequency Design," ARRL. pp.54-73.

설 용 태(Yong-Tae Sul)

[정회원]



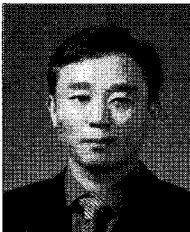
- 1979년 2월 : 한양대학교 전기 공학과 (공학사)
- 1981년 2월 : 한양대학교 전기 공학과 (공학석사)
- 1984년 2월 : 한양대학교 전기 공학과 (공학박사)
- 1985년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 전기공학과 교수

<관심분야>

반도체, RF, 플라즈마

이 의 용(Eui-Yong Lee)

[정회원]



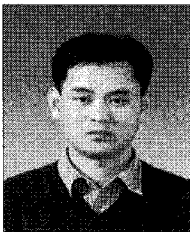
- 1991년 2월 : 순천향대학교 전기공학과 (공학사)
- 1993년 2월 : 호서대학교 전기 공학과 (공학석사)
- 2004년 2월 : 호서대학교 전기 공학과 (공학박사)
- 2001년 7월 ~ 현재 : (주)에이티에스 대표이사

<관심분야>

반도체공정, RF

권 혁 민(Hyuk-Min Kwon)

[정회원]



- 1999년 2월 : 호서대학교 전기 공학과 (공학사)
- 2001년 8월 : 호서대학교 전기 공학과 (공학석사)
- 2006년 2월 : 호서대학교 전기 공학과 (공학박사)
- 2006년 2월 ~ 현재 : (주)에이티에스 부설연구소 연구소장

<관심분야>

반도체공정, RF