

## 전력반도체 기술개발 동향

신훈규 <포항공과대학교 나노융합기술원 연구부교수>

### 1. 서 론

반도체 기술은 인류역사상 가장 유명한 발명품의 하나로 명명되어도 좋은 획기적인 제품화 기술이다. 21세기 전자제품에 있어 반도체 기술의 적용없이는 효율적인 구동이 어렵다는 것은 당연한 사실이다[1].

지난 10년간 정부에서는 메모리반도체의 의존도를 줄이고 시스템반도체 산업을 활성화하기 위해 약 1조 원 이상 규모의 연구개발을 지원했다. 우리나라 반도체 강국의 유지와, 중소·중견 팹리스기업의 기술 및 제품의 경쟁력을 강화하는 데 큰 역할을 하였다[2].

최근 시스템반도체의 핵심의 하나인 전력반도체 분야에 대한 관심이 증대되고 있다. 산학연에서는 신산업 창출을 위해서는 새로운 분야에 대한 연구개발과 산업육성이 필요하다는 요구가 많다. 전력반도체가 우리나라 메모리반도체 산업의 대안으로 성장할 것이라는 기대가 커지고 있다[3].

전 세계 전력반도체 시장은 2013년 300억불, 2015년도 341억불로 지속적으로 성장 중에 있으며, 전력반도체 산업은 그린에너지, 에너지 절약 등에 힘입어 인버터 에어컨, 고효율 산업기기, 전기자동차 등 전력효율화의 추세에 따라 급성장중이나 국내 산업 경쟁력은 취약한 실정이다.

삼성전자, SK하이닉스가 주도하고 있는 메모리 시장, ASML, AMAT가 주도하는 반도체 장비시장과

달리 전력반도체는 다품종 소량생산 분야로 중소기업과 대기업이 공존하는 분야로 국내 중소기업 발전이 가능한 사업으로 분류되고 있다.

전력반도체는 대다수 전자·전기기기의 핵심부품으로 관련 산업에서 상당한 파급효과를 지니고 있으므로 우리나라도 전력반도체의 산업경쟁력 강화를 위해서는 원천기술 확보가 필요하다.

우리나라는 실리콘기반의 전력반도체에서 Wide Band Gap (WBG) 물질 기반의 고효율 전력반도체로의 기술적 변혁기에 있는 상황을 이용하여 선진국과의 기술 및 산업화 격차를 단시간에 극복하고 글로벌 제조 강국으로 성장할 수 있는 전략적 투자가 필요한 시점이다.

EU, 미국, 일본 등 전력반도체 선진국들은 차세대 전력반도체 육성을 위해 연구개발 및 산업화 기반시설에 공격적으로 투자하고 있다.

국가나노사업(부처간융합사업), 세계 일류소재 개발사업(산업부, World Premier Material, WPM), 신형연구용원자로 사업(미래부)은 본 사업과의 연계 전략을 통해 상호시너지 창출이 가능한 사업 분야이기도 하다[4].

메모리반도체에 이어 전력반도체 산업이 차세대 신산업 창출을 기대하면서 본 특집에서 반도체기술 및 산업에서 미래 먹거리로 관심이 집중되고 있는 전력반도체 기술개발 동향을 소개하고자 한다[1].

## 2. 정의 및 종류

전력반도체는 전력변환, 전력변압, 전력안정, 전력 분배 및 전력제어 등을 수행하는 데 사용되는 반도체 및 부품으로 정의한다. 차세대 전력반도체란 기존 Si 기반의 반도체 소자 외에 WBG(화합물반도체) 물질(SiC, GaN, 인공다이아몬드) 기반의 소자로 제작하는 것으로 열특성향상, 속도강화, 고전압/고전류 가능 및 스위칭 손실 최소화 등이 가능한 전력반도체를 말한다[5].

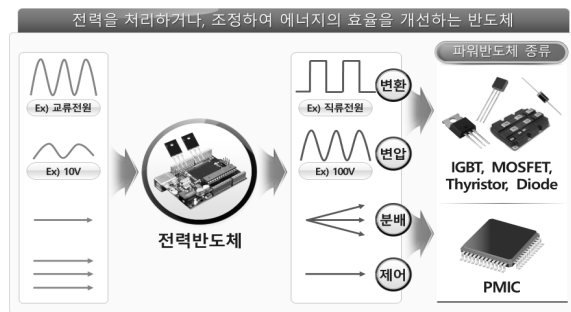


그림 1. 전력반도체 역할 및 종류

전력반도체는 전력을 사용하는 모든 기기에서 전원 또는 배터리로부터 공급되는 전력을 자동차, 조명, 노

트북, 스마트폰 등 다양한 시스템이 필요로 하는 전압과 전류 수준으로 변환하고 시스템 전체의 전력을 관리하는 역할을 수행한다.

전력반도체는 응용분야와 내압 특성에 따라 개별소자(Device), 집적회로(IC) 및 다중소자를 패키지로 집적한 모듈(Module) 형태로 존재하며 산업응용분야에 따라 전력레벨이 다른 반도체 소자가 사용되고 있다.

개별소자는 디바이스 또는 디스크리트(Discrete)라 불리며 전력 변환 및 전력 제어 등에 사용되는 반도체 소자를 말한다.

파워 다이오드는 정방향으로 전류가 흐르지만, 역방향으로는 전류가 흐를 수 없는 구조로 되어있으며, 다른 전력반도체 종류들과 달리 파워 다이오드는 상당한 양의 전류를 이송할 수 있다.

파워 트랜지스터의 하위분류로 바이폴라 트랜지스터(Bipolar Transistor), 파워 MOSFET(Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor), IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)등이 포함된다[5].

전력반도체 산업은 웨이퍼, 설계, 제조, 패키지(Package)/모듈(Module) 프로세스가 유기적으로

표 2. 전력반도체 소자의 기능과 용도

구분	기능·특징	용도
Diode (SBD, FRD 등)	정류 기능을 통해 교류를 직류로 변환	자동차, AV 기기
Transistor	증폭 기능, 스위칭 가능	산업기기, 가전기기, 자동차
Bipolar Transistors	온 저항은 작지만, 스위칭 속도가 느림, 높은 소비전력, 미세화가 어려움	MOSFET, IGBT로 대체 추세
MOSFETs	빠른 스위칭 속도, 저소비 전력, 미세화가 용이함, 고주파수에 적합하지만, 온 저항이 큼	박형 TV, 모터구동, 전원의 고효율화로 용도 확대 중
IGBTs	BJT보다 스위칭 속도가 빠름, 저소비전력, 미세화가 용이, 고주파수가 적합, MOSFET 보다 온 저항이 작음	백색가전 인버터, 하이브리드 카 등 고성장 전망
Thyristors (SCR, GTO 등)	특수 정류에 작용, 대용량화에 유리	용접기, 직류송전, 가전제품

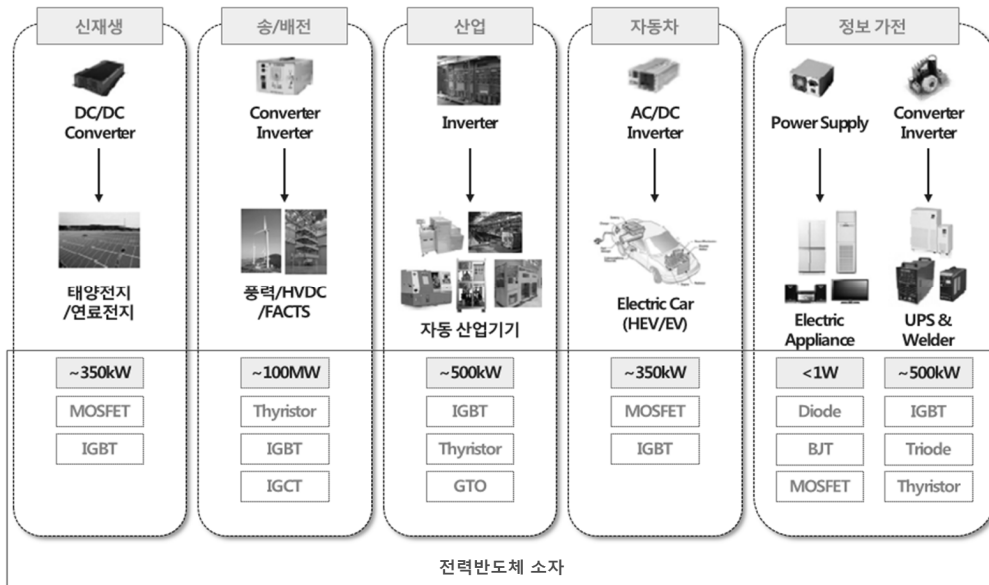


그림 2. 전력반도체 사용분야 및 종류

연결된 일체형 산업이며, 각종 산업에서 전자제품이 적용되는 산업으로 구분된다.

설계 분야는 기존 시스템반도체와 달리 단순 IP를 활용한 설계보다 주로 공정 경험을 활용한 공정설계기술로 진행되며, 큰 전력을 처리하는 디스크리트 및 모듈 형태의 전력반도체 소자는 사용 시 구동을 위한 구동용 파워 IC를 필요로 한다.

전력반도체는 소량 다품종 생산 특성과 공정 및 패키지/모듈 기업이 핵심이 되는 분야로서 시스템반도체보다 더욱 더 고객의 요구에 맞추어야 하는 산업이다.

전력반도체는 다양한 분야에 연관 응용되고 있으며, 모바일 기기의 증가와 전기자동차 개발과 맞물려 적용범위가 확대되고 있는 추세이며, 전력반도체는 수요기업별로 다품종 소량생산에 유리한 품목으로 다른 시스템반도체보다 활용범위가 다양하다 [6-9].

### 3. 국내외 정책동향

#### 3.1 국외 정책동향

미국의 파워 아메리카(Power America)는 2014년 미국 에너지부(USDoe)가 시작한 와이드밴드갭(WBG) 반도체 개발 및 적용 프로젝트로서 SiC, GaN 전력반도체 개발을 핵심목표로 하고 있다. 특히 파워 아메리카는 SiC(실리콘 카바이드) 공용팩을 구축하여 SiC 공정 개발과 시험생산에 활용하도록 하고 있다.

일본 정부는 2014년 '전략적 이노베이션 창조 프로그램(SIP)'의 하나로 차세대 파워일렉트로닉스 과제를 시작하였다. 연구기간 5년(2014~2019년)으로 2014년도 과제 예산은 22억엔(약 220억원)으로 SiC 및 GaN 전력반도체 기술개발을 추진하고 있다.

EU는 Last-Power (2010-2014, 4.5M\$), Hiposwitch (2011-2014, 7M\$)가 추진된 바 있으며, 독일은 neuland (2010-2013, 6M\$)가 추진되

었다. 아시아에서는 대만이 WBG 전자소자연합체로 2011-2016년까지 600V SiC, GaN 디바이스 개발에 박차를 가하고 있다

### 3.2 국내 정책동향

전력반도체는 시스템반도체의 하나로 다양한 산업에서 중요한 역할을 차지하고 있다. 우리나라 정부는 선진국과 기술경쟁력 확보와 시장점유율 확대를 위한 다양한 정책과 전략을 발표한 바 있다. 이러한 정부의 노력은 반도체 산업을 지속가능한 산업으로 만들고 새로운 성장동력으로 시스템반도체 산업을 육성하고자 하는 의지가 담겨져 있다고 볼 수 있다.

시스템반도체와 장비산업의 점유율 및 국산화를 확대를 목표로 시스템반도체 및 장비산업의 육성전략을 수립('10.9)하고 핵심기술의 전략적 개발을 위하여 민·관 합동의 반도체 산업 지원과 중소·중견 기업의 육성 및 반도체 클러스터 구축을 중점전략으로서 추진하고자 하였다. 육성전략을 통하여 시스템반도체 점유율과 국산화율을 높이고 고용창출과 장비기업 육성을 목표로 하였다.

이후 정부는 신성장동력지원협의회를 개최하여 「생태계발전형 신성장동력 프로젝트」 10개를 확정('11.10)하였고, '에너지절약형 전력반도체 개발' 프

로젝트를 추진하여 국내 반도체 설계, 제조기업의 협업체제 구축과 수입의존도 제고를 위한 국산화에 주력하면서 원천기술개발에서 제품화까지 일괄개발을 목표로 하였다.

또한, 정부는 '반도체산업 재도약전략'('13.10)을 마련하여 세계 반도체 산업 선도를 목표로 메모리, 시스템반도체, 장비·소재, 인력·인프라 분야별 추진과제를 수립한 바 있다. 시스템반도체 분야에서는 7개 세부 추진과제를 설정하고, 관련 R&D의 활성화와 중소기업 공생적 환경 조성 방안을 모색하고자 하였다[10-11].

## 4. 기술개발동향

### 4.1 전력소자(Power Device)

전력망 및 에너지 변환 시스템의 핵심 부품인 IGBT와 MOSFET은 다양한 영역에 걸쳐 적용되고 있다. 고효율 시스템에 대한 요구가 증대함에 따라 전력에너지 변환시스템에 활용되는 IGBT 기술은 지속적으로 발전하고 있다.

IGBT 수직 구조의 발달과 더불어, planar gate 형태의 전면 transistor cell 형태에서 미세 공정을 접목하여 집적도를 더욱 향상시킨 trench gate cell

표 1. 국외 전력반도체 육성 현황

국가	기간 및 예산	기관	주요내용
미국	2015~2019 5억불 규모, 주정부 (1.35억불) 및 기업	NY-PEMC (New York Power Electronics Manufacturing Consortium)	6"SiC 민관합동 컨소시움
	2014~2019 1500억원 규모, 정부(DOE), 민간	NGPTI Next Generation Power Electronics Institute	WBG 연구개발 대학, 기업 컨소시움
일본	2012~ 1600억원 규모	TPEC (Tsukuba Power-Electronics Constellation)	WBG 연구개발 2020 까지 SiC상용화
EU	2003~ Project Base로 예산운영	ECPE (European Center for Power Electronics)	SiC, GaN 등 고효율 전력소자 포괄적 개발

구조를 적용한 IGBT 기술이 대세이다. IGBT 기술은 미세 패턴을 활용한 고집적도 trench gate cell 적용 및 초박막 웨이퍼 가공 기술과 FS-layer 형성 방법의 혁신을 통한 anode 구조의 최적화를 이루는 방향으로 발전되고 있다.

고속 응용회로에 주로 사용되고 있는 전력용 파워 MOSFET의 경우는 40V~900V에 이르는 다양한 영역에서 적용되고 있다.

SiC는 가격대비 성능 관점에서 6인치로 공정개발이 진행되고 있으며 저항을 줄이기 위한 트렌치 기술의 대안으로 떠오르고 있다. 차세대 웨이퍼는 기존 실리콘 웨이퍼에 비해 대전류, 고전압에 강하고 발열 특성도 뛰어나 전력량을 줄일 수 있어, 2020년 이후 가전, 자동차, 지하철, 송전망 등에서 사용될 전망이다.

SiC 전력반도체는 산업기기, 태양전지, 전기차, 철도 등 파워 일렉트로닉스 분야에서 실리콘보다 전력 변환 손실이 적고, 재료물성이 우수해 SiC 디바이스/모듈의 실용화가 요구된다. SiC는 FET, LED, 압력 센서, HBT, SBD 등의 응용이 연구되고 있으며, 일부 상용화되고 있다.

GaN 전력반도체는 와이드밴드 갭 특성과 고온(700℃) 안정성의 장점이 있고, 고효율 전력증폭기 뿐만 아니라, 고전력 스위칭 소자로서 차세대 에너지 절감용 핵심소자로 부각되고 있다[5].

## 4.2 집적회로(IC)

전력반도체 소자의 종류에 따라 이를 구동하는 구동 파워 IC에 요구되는 특성은 상이하다. 범용 구동 IC를 사용할 수도 있으나 구동 회로의 구현은 전력소자에 맞추어 반드시 재구성 되어야하며 최적화된 게이트 구동 파워 IC가 있을 경우 가장 좋은 특성을 얻을 수 있어 신규 개발되는 차세대 파워소자의 상용화를 위해서는 구동 파워 IC의 개발이 절실하다.

대다수의 선도 전력반도체 공급업체는 자체 구동

파워 IC 솔루션을 보유하고 있어 단품, SiP, 모듈 등에서 최적화된 회로를 구현하여 제공하고 있으며 차세대 파워소자 개발에 맞추어 신규 파워 IC들도 출시하고 있다.

Junction Isolation을 이용한 Level Shifter 방식의 게이트 드라이버는 단일 칩에 다수의 채널을 집적화 할 수 있어 장점이 있어 650V급 이하의 가정용 제품에 많이 사용된다.

파워소자(Power Device)의 종류에 따라 이의 on/off를 구동하는 게이트 드라이버에서 요구되는 특성이 상이하어 구동 회로의 구현은 파워소자에 맞추어 재구성 되어야한다.

해외 선도 업체들인 인피니언, 아날로그디바이스, STMicro, 페어차일드, 아바코 등 해외업체의 솔루션 처럼 Galvarnic Isolation 방식의 고내압 Isolation 기반 신규 구동 IC 개발이 필요하다.

IoT(Internet of Things)는 우리 주변 사물들에 센서, 통신, 전력 관리 기능 등을 부여해 스스로 정보를 수집, 공유, 활용하는 모든 진화된 ICT를 말하며, 현재 애플의 스마트 워치 제품과 같은 저전력의 소형화된 웨어러블 디바이스에서부터 스마트 빌딩, 공장, 농장, 학교, 카, 드론, 각종 센서 등 IoT가 접목된 다양한 어플리케이션이 개발되고 있다.

IoT 환경에서는 기기 사용의 자유도, 소형화, 배터리 관리, 전력 관리 등이 중요한 개발 목표를 이루고 있다. 또한, 배터리로부터 공급되는 전력을 다양한 전압과 전류 수준으로 바꾸어 기기 내에 공급하는 PMU(Power Management Unit)는 전력반도체를 구성하는 핵심기술이다.

따라서 IoT용 전력반도체는 SiC, GaN과 같은 고효율의 차세대 전력소자를 기반으로 무선충전, 에너지 하베스팅 기술과 BMU 및 PMU 기술이 융합된 'Advanced Energy Hub SoC'로 개발하여 상용화할 필요성이 크다[5].

### 4.3 모듈(Module)

전력반도체 모듈 부분의 기술적 분류 방식은 Chip 부문, 패키지 설계, 시뮬레이션 부문, 패키지 재료 부문, 어셈블리 공정 부문, 신뢰성 및 수명 분석 부문, 불량 분석 및 고장 모드 해석 부문으로 분류하는 방식을 따르고 있다.

모듈에서 각각의 재료 개선, 공정 개선, Solder layer의 삭제, 전기 저항 및 열적 저항을 줄이는 기술을 개발 중에 있으며 제품에 적용되고 있다.

Si Chip의 전기적 선 연결 기술은 전기적 저항을 최소화하고, 기존 Al Wire의 피로 수명 개선 및 이 전기적 연결을 통한 방열 효과 극대화할 수 있는 다양한 재료 및 공정을 개발하고 있다.

Terminal Inter Connection 관련 기술에서는 모듈 내부의 Terminal Inter Connection을 기존 soldering 방식이 가지고 있는 Mechanical/Thermal stress에 대한 취약점을 개선하는 데 노력하고 있다.

chip과 DBC 혹은 Base Plate와의 Inter Connection에서는 현재 고온에서 동작을 할 수 있는 Wide Band Gap 디바이스인 SiC, GaN이 상용화되면서 이 chip의 특성을 극대화하고, 기존 Pb Free solder가 가지고 있는 신뢰성 부분을 개선하고자 Soldering 관련 다양한 연구가 이루어지고 있다.

이외에 기존 Soldering을 완전히 제거하고자 하는 기술적 노력과 Heat Sink Integrated 모듈 기술 및 Direct Water Cooled 모듈은 여러 회사에서 개발 중에 있다.

- New Trend 1 : 기존 모듈과 같이 하나의 완성된 부품으로서의 모듈이 아닌 Application-Fit 혹은 System-Fit의 중간 단계의 부품으로서, 하나의 응용 공정으로서의 모듈 개발도 이루어지고 있다.

- New Trend 2 : 또한 열팽창 계수를 매칭 시키면서, 열적/전기적 저항을 줄일 수 있는 다양한 소재들이 개발되고 있다
- New Trend 3 : SiC 및 GaN을 적용한 모듈들이 개발되어지고 있고, 기존의 2-Level 방식이 아닌 3-Level용 모듈과 Reverse Blocking 모듈도 제품 수용에 의해 개발이 되고 있는 상황이다[5].

### 4.4 표준화(Standardization)

IEC 산하 개별반도체소자 분야의 회원국들이 적극적으로 참여하고 있으며 그 중에서도 일본이 가장 주도적인 활동을 하고 있다.

국내에서는 반도체 센서류의 일반규격 및 분류에 대한 규격을 제안하여 1998년에 채택되었고, 2000년에 IEC 60747-14-1 규격을 발행하였고, 반도체 소자, 개별소자 분야에는 21개의 국내규격(KS) 규격이 있으며, KS C IEC 60747(개별 반도체소자)의 시리즈 규격에 대하여 20개의 규격이 부합화를 완료하였다.

반도체 센서에 대한 5개 규격이 압력 센서, 가속도 센서, 유량 센서 등 반도체 센서 업체들에게 유용하게 사용되고 있다.

자동차 전자장치에 대한 기능안전 규격으로 ISO 26262가 제정된 바 있다. 자동차 반도체의 표준이 되는 ISO 26262는 산업적 생산제품의 표준이 되지만, 한편으로는 반도체 제품의 신뢰성과 안정성이 반드시 요구되도록 만든 표준이다.

우리나라도 다양한 표준화 활동에 참여하면서 표준기술을 제품화에 적용하기 위한 다양한 노력들이 필요하다. 정부에서는 기업들이 시작품 및 완제품의 개발 시 국내외의 각종 표준·규격 준수 및 품질인증 규격을 획득할 수 있는 인프라 구축이 시급한 실정이다.

## 5. 결 론

전문기관의 분석에 의하면 우리나라 전력반도체는 기술은 아직 선진국 대비 70% 이상을 넘지 못하고 있다고 평가하고 있다.

국내 전력반도체 업체 현황에서도 웨이퍼 제조부터 응용제품까지 전주기 제조공정을 가진 업체도 없으며 업체간 서플라이 체인(Supply Chain)을 형성하고 있는 회사도 소수에 불과하다.

전력반도체 국내생산과 신시장 창출을 위하여 최근 몇몇의 팹리스기업이 전력반도체 제품 생산을 위한 사업까지 확대하고 있으며 글로벌 틈새시장을 노리기 위한 연구개발을 전략적으로 추진 중에 있다.

반도체 산업의 육성에는 첨단시설과 장비를 마련된 인프라와 제조공정의 비용소요가 많아 신생업체에게 투자를 요구하는 것은 큰 부담으로 작용하고 있다. 정부에서는 전력반도체 기업지원 인프라 등 국가적 차원의 기업지원을 위한 방안을 마련 중에 있다.

치열한 글로벌 시장 경쟁 속에서 우리나라 전력반도체 기업이 자리매김하기 위해서는 수요기업과 긴밀한 R&D 연계를 통한 신뢰성 있는 제품 개발이 중요한 요인이다. 전력반도체 시장 선점을 위하여 산학연이 공동협력 네트워크를 구축하고 연구개발과 제품화를 추진하는 등 신산업을 위한 역량을 결집하고 경쟁력을 갖추어 나가는 것이 중요할 것이다.

전력반도체는 시스템반도체의 한 분야이지만, 메모리반도체를 대체할 수 있는 새로운 시장이 될 것으로 기대된다. 정부의 지속적인 관심과 지원, 정책과 전략의 마련, 산학연의 신기술개발이 이루어질 때 비로소 우리나라 전력반도체의 산업육성이 가능해 질 것으로 생각된다. 전력반도체 산업육성을 위해 산학연관의 역량 결집을 기대해 본다.

## 참 고 문 헌

- [1] 한국전력소자산업협회 개소식 및 기념 심포지움 발표자료집, KPDA, 2016.
- [2] 시스템반도체, KET PD 이슈 리포터, 2015.
- [3] 초절전 고성능 미래반도체 나노소자 기술개발 추진방안 연구, 기초연구기획사업(이병훈), 2015.
- [4] 차세대 전력반도체 SiC와 GaN의 응용, 우현민, 안준영, 이명준, 나재두, 전기의 세계 63-5호, 대한전기학회, 2014.
- [5] 전력반도체 신산업 창출 및 육성전략, KET PD 이슈 리포터, 2014.
- [6] 반도체산업 재도약전략, 산업부, 2013.
- [7] 반도체연구추진동향, KSIA, 2013.
- [8] Gartner Report, Gartner, 2012.
- [9] iSuppli Report, iSuppli, 2011.
- [10] 고효율 전력·에너지반도체 기술개발사업, KISTEP, 2012.
- [11] 반도체산업의 2020 비전과 전략, 산업연구원, 2007.

### ◇ 저 자 소 개 ◇



신훈규(辛熏珪)

1967년 11월 26일생. 1999년 동아대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 포항공과대학교 나노융합기술원 연구부교수, 미래전력소자플랫폼센터장,

3D프린팅·인쇄전자연구센터장, ISO TC 201 위원.

관심분야 : SiC 전력반도체, 분자전자소자, OLED, STM/AFM, 3D 프린팅/인쇄전자

Tel : 054-279-0213

Fax : 054-279-0249

E-mail : shinhk@postech.ac.kr