

탄화규소 전력반도체 기술 동향

김상철 (한국전기연구원)

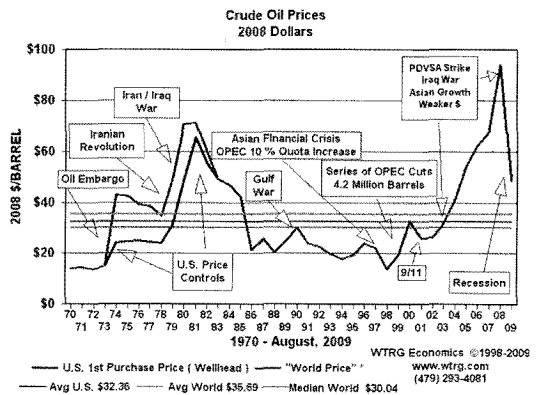
1947년 트랜지스터의 발명을 시작으로 사이리스터, MOSFET 및 IGBT 등의 전력반도체 소자가 개발되면서 산업, 가전 및 통신 등의 다양한 분야에서 실리콘 기반의 전력반도체 소자가 활용되고 있다. 개발 당시에는 10A/수백V 정도의 전류통전능력 및 전압저지능력을 가지고 있었지만, 현재에는 8000A/12kV급의 대용량 소자까지 생산되고 있다.

이러한 전력반도체 소자는 다양한 응용분야에서 높은 전압 저지능력, 큰 전류 통전 능력 및 빠른 스위칭 특성을 요구하고 있다. 특히 최근의 전력변환장치들은 고온동작특성 및 고효율화에 대한 요구가 더욱 강조되고 있다. 일반적인 실리콘 전력반도체소자는 물질적인 특성한계로 고온에서의 동작 시 소자 특성이 떨어지는 특징을 보이고 있어 고온 환경에 적합한 전력반도체 소자의 필요성이 증가되어 실리콘에 비해 밴드갭이 넓은 SiC 및 GaN 등의 wide bandgap 반도체 물질의 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 SiC는 단결정 성장을 통한 웨이퍼화가 용이하고 소자 제작공정이 기존 실리콘공정과 유사하여 많은 연구가 진행되었으며 일부 소자에서 상용화가 진행되었다. 본고에서는 현재 활발히 진행되고

있는 탄화규소 전력반도체소자의 기술동향에 대해 소개하고자 한다.

I. 서론

최근 전 세계적인 유가급등, 자원고갈과 지구 온난화의 위협 등으로 에너지소비의 고효율화가 매우 중요한 사회적 이슈로 대두되고 있다. <그림 1>에 1970년 이후의 석유가격 변동 추이를 나타내었다. 2008년 기준 국내 1차 에너지원별 소비실적은 238,185천toe이고, 석유 및 석탄 등



<그림 1> 석유가격 변동 추이

화석 에너지의 소비실적은 165,126천toe로 전체 에너지 소비량 중 화석에너지가 차지하는 비중이 70%를 넘는다^[1]. 또한, 2010년 4월 기준 국내 총 전력 생산 설비용량은 73,673MW이며, 이 중 무연탄, 유연탄, 중유 및 LNG 등의 화석연료를 사용하는 평균 전력설비용량은 47,493MW로 전체 전력설비용량의 64%를 차지한다^[2]. 이러한 화석연료로 인해 지구온난화의 주범인 이산화탄소 배출량의 40%가 전력생산에 기인하고 있다는 점을 고려하면 에너지의 효율적인 이용이 매우 중요해진다. <그림 2>에 주요국의 온실가스 배출량을 나타내었다. 한국의 온실가스 배출량은 전 세계에서 10위권에 해당된다. 이러한 에너지의 효율적인 이용을 위해서는 전력변환기술, 특히 전력변환용 스위치소자의 고효율화 및 고신뢰성을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 탄화규소 전력반도체 소자는 기존의 실리콘 기반의 전력반도체 소자의 한계를 극복하여 전력변환기술의 고효율화를 달성하기 위한 대안으로 급부상하고 있다.

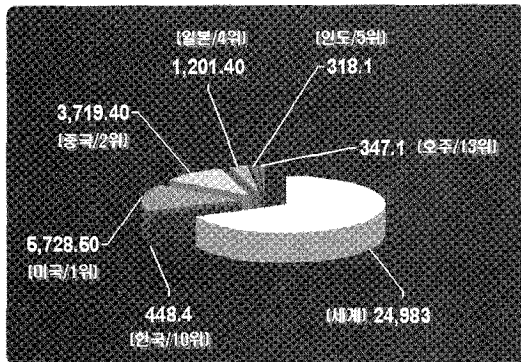
SiC 전력반도체소자는 실리콘 전력반도체소자에 비해 우수한 물질특성을 갖고 있어 성능 측면에서 뿐 만 아니라 전력변환장비의 크기를 확

거적으로 줄일 수 있다^[3]. SiC 반도체 분야에서 최근의 비약적인 발전을 통해 고전압 전력소자로서의 활용가능성이 매우 높아지고 있다^[3]. 특히 소자가 직접적으로 고온 환경에서 동작이 가능하면, 좀 더 신뢰성 있는 정확한 측정 및 제어가 가능할 뿐만 아니라 시스템의 소형 및 경량화 실현, 빠른 응답특성, 결과적인 효율향상 등 여러 가지 장점을 얻을 수 있다. 현재는 250°C까지의 온도영역에서 실리콘 SOI(Silicon on Insulator) 소자가 주로 사용되고 있다. 그러나 300°C를 넘는 온도 영역에서는 실리콘으로는 한계가 있고, 특히 SOI는 전력소자에 적용하기는 한계가 있어 주로 저전력 고온소자가 필요한 부분에 적용이 되고 있다. 따라서 전력용에 적합한 고온소자로 SiC 소자의 연구가 활발히 진행되고 있다.

II. 탄화규소 반도체 물질의 특성

탄화규소 전력반도체소자는 실리콘 기반의 전력반도체소자에 비해 전력밀도를 3~10배까지 높일 수 있는 고밀도 전력반도체소자이다. 탄화규소의 우수한 물성으로 전력변환 스위칭소자로 사용할 경우 실리콘 기반의 스위칭 소자와 비교하여 소자 크기는 1/10, 통전손실은 1/300정도 감소되며 이를 시스템에 적용할 경우 변환손실이 1/3로 줄어들 수 있을 것으로 기대된다.

각종 반도체재료의 물질특성을 <표 1>에 정리하였다. 탄화규소반도체재료는 전력반도체로 가장 많이 사용되는 실리콘에 비해 밴드갭이 약 3배 정도 크다. 이러한 넓은 밴드갭은 소자의 고온 동작에 매우 유리하다. <그림 3>에 실리콘 및 탄화규소 반도체의 온도에 따른 진성캐리어 농도



<그림 2> 주요국의 온실가스 배출량^[1]

〈표 1〉 각종 반도체재료의 물질특성

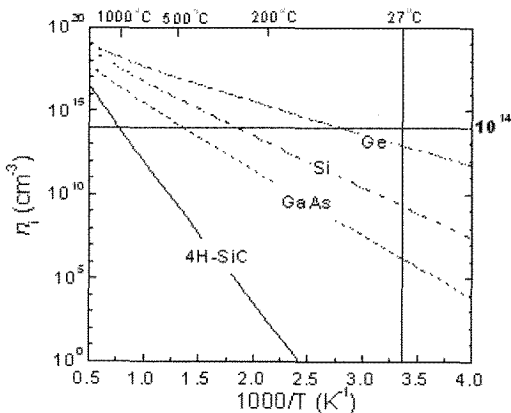
Property	Si	GaAs	GaN	B-SiC (A-SiC)	Diamond
Bandgap (eV, @300K)	1.1	1.4	3.5	2.3~3.3	5.5
Max. Operating Temp. (°C)	300	460	500	873 (1240)	1100(?)
Melting Point (°C)	1420	1238	1700	>1800	Phase change
Physical Stability	Good	Fair	Good	Excellent	Excellent
Electron Mobility (cm ² /V-s)	1400	8500	>440	1000 (600)	2200
Hole Mobility (cm ² /V-s)	600	400	-	40	1600
Breakdown Field (10 ⁶ V/cm)	0.3	0.4	-	4	10
Thermal Conductivity (W/cm-°C)	1.5	0.5	1.3	5	20
Saturated Electron Drift Velocity (10 ⁷ cm/s)	1	2		2.5	2.7
Dielectric Constant	11.8	12.8	12.1	9.7	5.5

를 나타내었다. 소자의 누설전류와 진성캐리어 농도와의 관계는 식 1과 같은 관계를 갖는다. 즉 동일한 온도에서 진성캐리어농도가 높을수록 누설전류가 커지게 되고 고온일 경우 누설전류의 크기가 더욱 커지게 되어 동작 안정성이 떨어지게 된다. 탄화규소의 경우 고온에서도 진성캐리

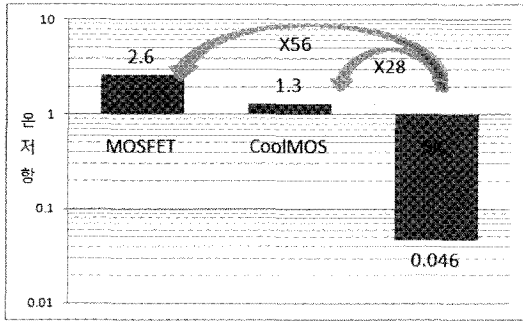
어농도가 실리콘에 비해 낮으므로 높은 동작 안정성을 확보할 수 있다.

$$I_{leak} = qAN_i \left(\frac{N_i}{N_D} \sqrt{\frac{D_p}{\tau}} + \frac{W}{2\tau} \right) \quad (1)$$

탄화규소의 최대 electric field는 실리콘에 비해 10배정도 높다. 이론적으로 MOSFET의 온-저항 R_{on} 은 electric field와 식 2의 관계를 갖는다. 여기서 동일한 전압을 견디기 위해서 drift 층의 두께는 실리콘에 비해 1/10의 두께가 필요하게 되고 온-저항은 electric field의 3승에 반비례하므로 동일한 전압의 소자에서 온-저항은 300배 정도 적게 된다. 그러나 실제 소자의 경우 여러 가지 기술적인 문제를 고려하여 <그림 4>와 같이 56배 정도 낮은 결과가 보고되었다^[4]. MOSFET 소자의 전도손실(conduction loss)는 온-저항의 제곱에 비례하는 특성을 갖는다. 따라



〈그림 3〉 Si 및 SiC 반도체재료의 온도에 따른 진성캐리어농도 변화



〈그림 4〉 Si-MOSFET, Si-CoolMOS 및 SiC-MOSFET의 이론적인 온저항 비교

서 낮은 온-저항특성을 갖는 탄화규소 MOSFET 소자는 전도손실을 획기적으로 낮출 수 있다.

$$R_{on} = \frac{4V_B^2}{\mu_n \epsilon E_c^3} \quad (2)$$

한편, 탄화규소 반도체의 포화전자속도(saturated electron velocity)는 실리콘에 비해 2배정도 빠른 특성을 보인다. MOSFET 소자의 스위칭 손실은 스위칭주파수(f_{sw})와 식 3의 관계를 갖는다. 식 3에서 보듯이 동일한 스위칭 손실의 경우 스위칭주파수를 빠르게 할 수 있으며, 동일한

스위칭 주파수의 경우 빠른 턴-오프시간(t_f)으로 스위칭 손실이 적게 된다. 즉, 탄화규소 MOSFET 소자는 빠른 포화전자속도로 고속 스위칭이 가능하게 되어 소자의 스위칭손실을 줄일 수 있는 장점이 있다.

$$P_{sw} = I_{ON} V_B t_f f_{sw} \quad (3)$$

또한 탄화규소 반도체재료의 큰 장점은 높은 열전도도(λ)이다. 실리콘에 비해 3배 이상 높은 열전도도를 갖고 있다. 따라서 소자의 동작으로 인해 발생하는 열을 빠르게 방출할 수 있어 고온 동작에 매우 유리한 특성을 보인다.

전력변환장치의 대용량화 추세에서 부품 및 시스템에서 고온동작 안정성, 작은 부피, 경량화 및 저손실 등이 요구된다. 특히 대용량화와 경박 단소화의 상충되는 개념을 만족시키기 위해서는 전력반도체의 전력밀도를 획기적으로 높일 수 있는 새로운 개념의 전력반도체가 필요하게 된다. 〈그림 5〉에 실리콘 기반 전력반도체소자와 탄화규소 기반 전력반도체소자의 물질특성 및 적용효과를 비교하였다.

물리적특성질(SiC/Si)		적용효과	
		반도체소자(SiC/Si)	전력변환장치(BTB, SVG)
용점(°C)	2배(2800/1420)	고온동작화	3배 수냉 → 공냉
에너지 밴드폭(eV)	3배(3.2/1.1)	고내압화	10배 직렬소자수 감소
절연파괴전계(V/cm)	10배(3E6/3E5)	저손실화	1/100배 소형 · 고효율화
열전도도(W/cm°C)	3배(4.5/1.5)	고속 · 고주파화	10배 소형 · 고속화
포화전자속도(cm/s)	2배(2.7E7/1.0E7)		

〈그림 5〉 Si/SiC 전력반도체 물성 및 적용효과 비교 [5]

III. 국내외 연구개발 동향

1. 탄화규소 소재기술 동향

탄화규소 반도체 소자는 1980년대 단결정 성장 기술이 개발된 이후 급속히 성장하고 있다. 초기 개발된 단결정은 많은 결함 및 작은 웨이퍼 직경으로 소자 제작을 위한 웨이퍼로 사용이 불가능 하였으나 1990년대 소자에 적용할 수 있는 정도의 품질 및 크기의 단결정 성장기술을 개발하여 상용화되기 시작하였다. 2001년 이후 웨이퍼 공급업체의 수가 증가하였고 품질 및 가격 경쟁이 시작되었다. <그림 6>에 2006년 기준 탄화규소 웨이퍼 수요예측을 나타내었다. 매년 웨이퍼 공급이 크게 늘고 있으며 2015년 EV/HEV 등의 친환경 자동차의 보급이 확대되면 더 큰 폭의 성장이 예상된다.

2006년 4인치 탄화규소 웨이퍼가 공급되기 시작하면서 기존 실리콘 기반의 공정라인을 이용하는 것이 가능하게 되었다. 개발 초기에는 웨이퍼의 dislocation 및 micropipe 등의 결함이 많아 소자 제작 후 수율에 큰 영향을 주었으나 최근의 4인치 탄화규소 웨이퍼는 결함이 거의 없

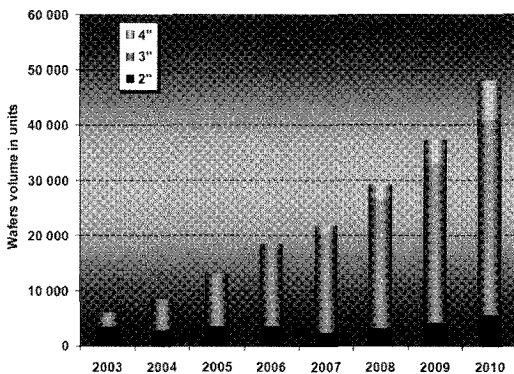
는 ZMP(Zero MicroPipe)에 도달하였다.

탄화규소 웨이퍼를 전력반도체 소자에 적용하기 위해서는 에피박막 기술 또한 매우 중요하다. 1994년 step-controlled epitaxy 기법의 개발로 저온에서 고품질의 박막 형성이 가능해 지면서 4° 및 8°-off 기판이 주종이 되었으며 2003년 이후 on-axis 기판의 에피탁시가 개발되면서 웨이퍼의 단가를 획기적으로 낮추고 결함을 최소화하여 소자의 신뢰성을 향상시키게 되었다. 현재 에피박막 기술의 주된 관심사는 소자의 신뢰성에 영향을 미치는 stacking fault 및 bassel plane 전위감소를 위한 연구가 주를 이루고 있다 [6].

그러나 탄화규소 전력반도체소자의 활성화를 위해서는 아직 단결정 및 에피박막의 비용이 큰 걸림돌로 작용하고 있다. 탄화규소 쇼트키장벽 다이오드의 가격에서 단결정이 차지하는 비중이 50%이고 에피박막이 차지하는 비중이 25%로 소자 제작, 패키지 및 평가를 위한 소자화 공정 비용의 3배로 매우 크다(3인치 웨이퍼 기준) [7]. 이러한 과도한 소재비용의 불균등성은 웨이퍼의 대구경화를 통해 해결될 것으로 판단된다.

미국 및 일본이 주도하고 있는 탄화규소 단결정 시장에 2008년을 기점으로 러시아 및 중국 등의 신흥 개발국이 진입하기 시작하였다. 러시아와 중국은 2인치 및 3인치 4H-, 6H- 탄화규소 및 반절연 탄화규소 웨이퍼를 개발한 것으로 보고되고 있다. 특히 중국의 경우 가격적인 경쟁력을 무기로 시장에서의 활약이 기대되고 있다.

국내에서의 탄화규소 소재기술은 1990년대 후반 국책사업으로 시작되었다. 초기 기술개발 과제는 기반기술을 확보하기 위한 연구였으며 2003년을 기점으로 본격적인 연구개발이 시작되었다. 2005년 광소자용 2.5인치급 6H-



<그림 6> SiC Wafer 수요 예측
(출처 : Yole development 2006)

SiC 단결정 성장기술을 시작으로 현재는 3인 치급 4H-SiC 단결정 기술을 개발 중에 있다. 탄화규소 에피박막기술은 90년대 초반 3C-SiC의 에피박막 성장연구가 대학을 중심으로 진행되었으며 6H- 및 4H-SiC에 대한 박막 성장 연구는 매우 제한적으로 진행되고 있는 실정이다.

2. 탄화규소 소자 기술 동향

탄화규소 기반의 전력반도체소자는 <표 1>의 특성에서 전자와 정공의 이동도 차로 인해 주로 SBD, MOSFET 및 MESFET 등의 전자를 캐리어로 이용하는 단극성소자 개발이 활발히 진행되고 있다. 그러나 초고전압 분야에서의 장점을 활용할 수 있는 바이폴라 트랜지스터, 사이리스터 및 절연게이트 바이폴라 트랜지스터(IGBT) 등의 연구도 지속적으로 진행되고 있다.

2002년 독일의 인피니온사에서 300V 및 600V급 탄화규소 쇼트키장벽 다이오드를 상용화 하였으며 현재 1200V급 탄화규소 쇼트키장벽 다이오드까지 상용화되어 역률보상(PFC) 등의 산업용 전원장치에 적용되고 있다.

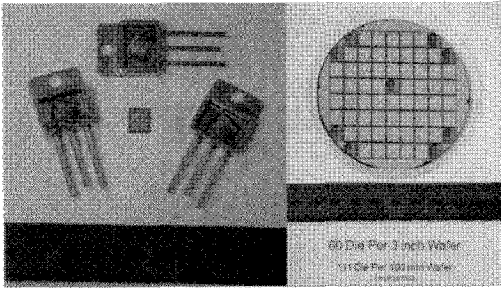
탄화규소 반도체가 가장 장점을 보일 수 있는 MOSFET 소자의 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 탄화규소 MOSFET 소자의 가장 큰 걸림돌은 채널영역에서의 낮은 전자 이동도와 게이트 산화막의 신뢰성 문제였다. 게이트 산화막과 탄화규소 계면에서의 문제를 해결하기 위한 많은 연구를 통해 채널영역의 전자 이동도 문제는 소자 구현에 문제가 없는 수준으로 까지 발전하였으며 산화막의 신뢰성 문제도 거의 해결 단계에 진입하였다.

게이트 산화막이 없는 소자에 대한 연구 또한

활발히 진행되고 있다 JFET 또는 SIT로 대표되는 구조로 수십 MHz 이상의 빠른 동작주파수, 고온 동작특성, 우수한 내전압특성, 높은 전하이동도 및 높은 기술 성숙도 등으로 최근 일부 기업을 통해 상용화되었다. 특히 2006년 일본의 AIST에서는 JFET 소자의 가장 큰 단점인 normally-on 특성을 해결한 normally-off 특성의 탄화규소 JFET 소자를 이용하여 같은 정격의 다른 스위칭 소자 대비 최저급인 $1.0\text{m}\Omega\text{cm}^2$ 의 낮은 온저항 (Ron)의 700V급의 소자를 에피성장공정과 건식식각공정을 이용하여 이온주입 없이 개발에 성공하였다. 2008년에는 미국 Rutgers 대학에서 이온주입공정을 이용하여 normally-on type 수직형 1700V급 JFET 및 normally-off type 수평형 LJFET 소자의 개발을 보고하였다.

MOSFET의 경우 앞에서 언급한 여러 이유로 아직까지 상용화된 사례는 없으나 상용화 직전 단계 수준의 소자의 응용평가를 통해 문제점을 개선시키고 있다. 궁극적으로 10kV 이하의 전압 영역에서 경쟁력을 확보하기 위해서는 탄화규소 MOSFET 개발이 필연적이다. 현재 미국 및 일본의 기업이 중심이 되어 10kV/20A급의 MOSFET 소자 개발이 보고되었으며 1200V/60A급의 탄화규소 DMOSFET 소자도 실험실 수준에서 개발이 보고되었다(<그림 7>). 또한 2008년 ECSCRM 학회에서 발표된 900V급의 탄화규소 trench MOSFET의 경우 온저항이 $2.9\text{m}\Omega\text{cm}^2$ 이고 전류밀도가 $1200\text{A}/\text{cm}^2$ 로 발표되었다. 그러나 아직은 장기신뢰성 등의 문제를 해결해야 하는 등의 기술적 보완이 시급한 실정이다. <그림 8>에 최근까지 발표된 탄화규소 FET 소자의 온저항-내전압 상관관계를 나타내었다.

10kV급 이상의 응용분야에서는 양극성(bipolar)



(그림 7) Cree사에서 최근 발표한 1200V/60A급 탄화규소 DMOSFET 소자

소자의 장점을 극대화하고자 하는 측면에서 탄화규소 IGBT 소자의 연구가 진행되고 있다. IGBT 소자는 높은 게이트 임피던스와 전도도변조로 인한 저손실 전압제어소자이나 탄화규소의 특성을 활용한 IGBT를 구현하기 위해서는 p-기판 및 채널의 이동도 향상 문제, 게이트 구조의 안정적 형성 문제 및 상대적으로 복잡한 소자 구조 및 공정으로 인해 매우 제한적으로 연구가 진행되고 있다. 미국 퍼듀대학에서 20kV까지의 탄화규소 IGBT 소자 연구를 진행시키고 있으나 주목할 만한 진전은 없는 것으로 보이고 Cree에서는 2008년 specific on resistance가 18.6mΩcm²인 12kV급 p-channel IGBT 개발을 보고 하였으나 턴-오프 시간이 길고 순방향 전압강하

가 큰 단점을 내포하고 있다.

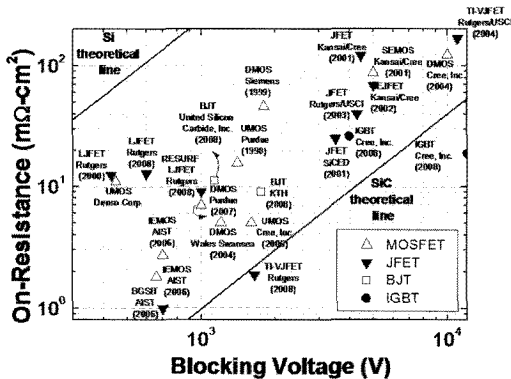
탄화규소 전력반도체소자는 전기연구원의 주도로 2005년 600V/5A급의 쇼트키 다이오드가, 2007년에는 전기연구원과 기업공동으로 1200V/8A급 쇼트키 다이오드가 개발되었다. 또한 고속 통신용 RF 소자인 탄화규소 MESFET prototype 이 산학공동으로 개발되었다. 이를 바탕으로 현재 페어차일드코리아와 케이이씨 등의 전력반도체 전문기업에서 쇼트키 다이오드를 전략품목으로 선정하여 실리콘 위주의 제품군을 다변화하고자 내부적으로 개발을 진행하고 있다. 현재 600V/20A급의 탄화규소 쇼트키 다이오드 및 MOSFET 개발을 목표로 하고 있으며 1200V급 탄화규소 MOSFET의 기반기술 확보를 위한 연구개발도 정부과제로 진행 중이다.

3. 탄화규소 응용시스템 기술 동향

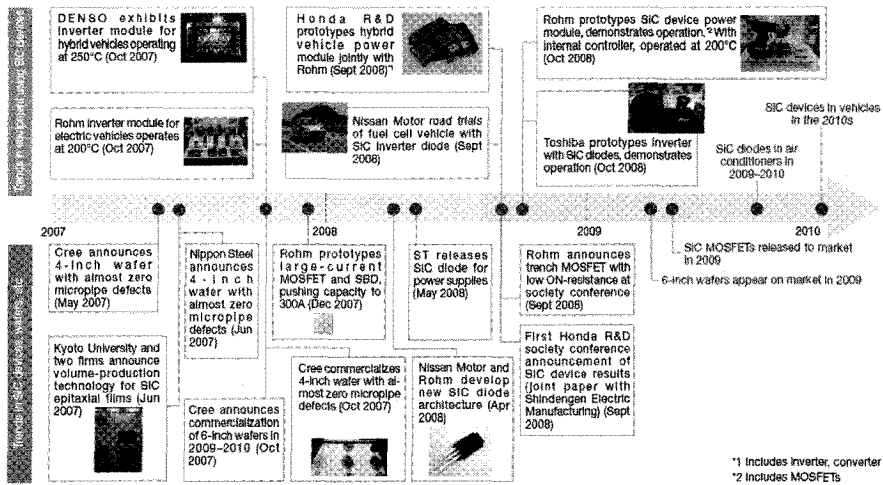
현재 탄화규소 전력반도체 소자의 주요 응용 분야는 PFC, UPS 및 모터구동 분야이다. 그러나 향후 EV/HEV 등의 친환경 차량분야와 태양광, 풍력 등의 PV 시스템의 전력변환분야 등에서 적용될 예정이며 년 15% 이상의 높은 성장률이 예상되고 있다^[11].

일본 간사이 전력의 경우 미국 CREE사와 공동으로 탄화규소 전력변환소자의 송전 및 변전급 대용량 소자로의 적용을 위해 많은 연구를 진행하고 있으며 2002년 이후 대용량 다이오드 모듈 및 3상 인버터 개발에 성공하였다. 이를 통해 2004년 12kVA급 PWM 주파수 2kHz 3상 인버터를 계통에 연계하여 실증실험을 진행하였다.

자동차 분야에서의 탄화규소 전력변환소자 적용 연구는 더욱 활발하다. 2008년 일본 닛산자동차는 연료전지자동차에 탄화규소 전력변환모



(그림 8) 최근까지 발표된 탄화규소 FET소자의 온저항-내전압 그래프



〈그림 9〉 응용분야 관점에서의 탄화규소 전력반도체 관련 주요 동향^[12]

들을 장착하여 실장면적 70% 및 사용전력 20%를 감소시킨 사례를 보고하였다. 또한 2009년 니케이 일렉트로닉스에서는 미쯔비시전기에서 탄화규소 쇼트키다이오드와 실리콘 MOSFET 스위칭소자로 구성된 인버터 시스템을 통해 실리콘 다이오드와 실리콘 IGBT로 구성된 인버터 시스템에 비해 70%의 손실을 저감하여 차량용으로 적용한 예를 보고하기도 하였다. 또한, 일본 롬사는 혼다자동차와 공동으로 EV 및 HEV용 탄화규소 전력모듈을 개발하여 25~40% 정도의 연비를 향상시킬 수 있을 것으로 보고하였다.

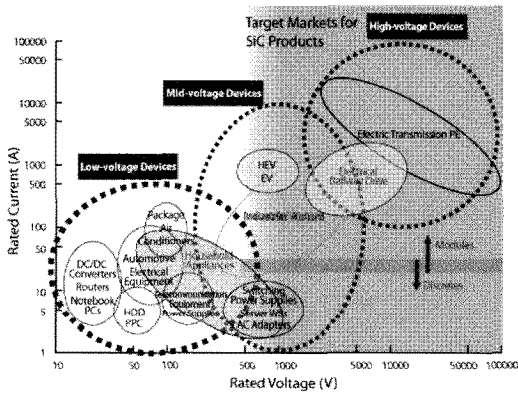
PV 시스템 분야에서는 독일의 Fraunhofer에서 탄화규소 전력반도체 모듈을 이용하여 고효율 인버터 시스템을 구성한 결과 수동부품의 가격을 50% 이상 절감하고 방열구조의 크기를 50% 이상 감소시킴으로써 소형화된 전력변환시스템을 개발하였다.

국내의 경우 탄화규소 전력반도체 기반의 전력변환시스템에 대한 관심이 점차 커지고 있으며 몇몇 기업에서 관련 연구를 진행하고 있으나 구체적인 개발 성과를 발표한 예는 아직 없다.

〈그림 9〉에 응용시스템 관점에서의 탄화규소 전력반도체 관련 주요동향을 나타내었다.

IV. 결론

탄화규소 전력반도체기술은 차세대 전력반도체 기술로 미국, 일본 및 유럽 등의 기술 선진국 뿐만 아니라 중국 러시아 등에서도 국가 주도의 주요 사업으로 진행되고 있다. 우리나라에서도 1990년대 후반부터 관련 연구가 진행되어 소재 분야에서는 단결정성장연구가 진행되고 있고 소자 분야에서는 쇼트키 다이오드 및 MOSFET 소자 개발이 진행되고 있다. 연구개발 초기에는 대학 및 연구소가 주축이 되었으나 최근에는 반도체 전문 기업의 관심 및 참여를 통해 기술 개발 속도를 높이고 있다. 그러나 이러한 차세대 전력반도체 분야에서의 성공을 위해서는 단결정성장-에피박막성장-소자설계-소자공정-소자평가-시스템응용 등의 체계화된 기술흐름을 확보하는 것이 매우 시급하고 중요하다.



〈그림 10〉 탄화규소 전력반도체 응용분야 예측

〈그림 10〉에 탄화규소 전력반도체소자가 목표로 하는 용량 및 응용분야를 나타내었다. 그림에서 보듯이 초기 개발단계에서는 기존의 실리콘 기반의 전력반도체와 겹치는 부분에서는 많은 경쟁요인이 있으나 실리콘 기반의 전력반도체소자로는 구현하기 어려운 대용량 분야, 고속 스위칭 분야 및 고온 환경분야 등의 영역에서 입지를 확보할 것으로 예측된다. 그러나 현재 wide bandgap 반도체 분야에서 GaN 및 다이아몬드 등의 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 따라서 이러한 경쟁이 치열한 분야에서의 탄화규소 반도체의 생존을 위해서는 결함이 없는 웨이퍼 및 에피성장률의 저가격화 및 대규격화, 소자의 특성안정화 및 신뢰성 확보, 그리고 고온특성을 구현시키기 위한 패키지 재료의 개발이 매우 시급하다.

V. 감사의 글

본 연구는 2009년도 지식경제부 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 2009101030002A)

참고문헌

- [1] 에너지관리공단 에너지소비통계 (<http://www.kemco.or.kr>)
- [2] 한국전력 전력통계속보, 2010.04, 378호.
- [3] Sei-Hyung Ryu, Anant Agarwal, James Richmond, John Palmour, Nelson Saks, and John Williams, IEEE Electron Device Letters, Vol.23, No.6, p.321, June, 2002.
- [4] Ashot Melkonyan, "High efficiency Power supply using new SiC devices", Ph. D Thesis, Kassel Univ., 2007.
- [5] 실장기술 가이드북 2009, 일본 공업조사회 p.27.
- [6] 전력산업 연구개발 기획보고서, 2008. 10
- [7] <http://www.semiconductor-today.com>, semiconductorTODAY Compounds & Advanced Silicon vol.2 Issue 5 June, 2007.
- [8] Cree, www.cree.com
- [9] SiCED, www.siced.com
- [10] SemiSouth, www.semisouth.com
- [11] Silicon Carbide (SiC) 2010 : 10 Year Market Projection, Yole Development, October, 2009.
- [12] Nikkei Electronics, Feb., 2009.

저자소개



김 상 철

1987년 02월 한양대학교 물리학과

1990년 08월 한양대학교 물리학과

2001년 02월 부산대학교 물리학과

1987년 03월~1991년 02월 한양대학교 물리학과 조교

1991년 02월~1992년 02월 TMA Technology

1992년 05월~현재 한국전기연구원 재료응용연구본부
책임연구원

주관심 분야 : Si 및 SiC 기반 전력반도체(사이리스터,
IGBT, MOSFET)