

Thema

| SiC(Silicon Carbide) 단결정 성장 방법 및 응용분야

1. 서론

김정규 공학박사과정
(동의대 정보통신·소재공학과)

이원재 교수
(동의대 나노공학과)

신병철 Director
(Electronic Ceramics Center)

구갑렬 대표이사
(주)크리스밴드

21세기 반도체 기술 발전은 시스템 IC 기술에 의해 주도될 것으로 예측되지만, 시스템 IC 기술은 초고집적화, 초고속화와 함께 Sub-system들 사이의 분리(Isolation) 기술 등과 같은 도전을 극복해야 한다. 현실적으로는 SOI(Silicon on Insulator) 기술이 이를 뒷받침하고 있지만 실리콘(Si) 반도체의 열적특성의 한계와 SOI의 방열특성 및 고밀도 절연특성의 한계 등으로 시스템 IC의 초고집적화 및 초고속화 등에 따른 고밀도 발열 문제를 궁극적으로 해결할 수 없다. 또한, Sub-system들 간의 Isolation문제는 근본적인 초고집적화의 장애로 대두되고 있다. 따라서 고내열, 고열전도, 고내전압특성을 고루 갖춘 SiC(Silicon Carbide) 반도체가 21세기를 이끌 대안으로 주목받고 있는 실정이다[1].

SiC 결정은 1000 °C~2700 °C 이상의 영역에 걸쳐 결정구조가 다른 상이 존재하게 된다(그림 1). 대표적인 안정상으로는 3C, 4H, 6H, 15R 등이며, 이외에도 200여 종이 넘는 동질이상형이 존재하지만, 대형의 단결정 성장이 가능한 안정상으로 존재할 수 있는 다형은 Hexagonal Type이다[2]. 하지만, 상기의 결정들은 성장 시 필요한 압력 및 온도 등의 제어가 쉽지 않아 재현성을 구현하는데 문제가 있으며, 결정의 주요 결함으로 알려져 있

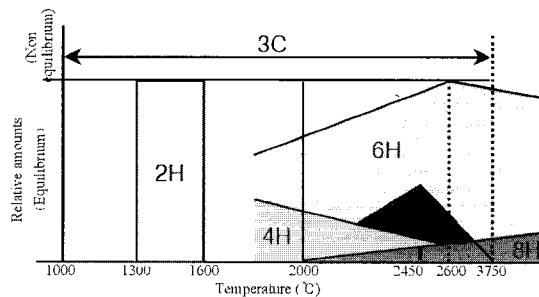


그림 1. SiC소재의 주요 결정다형들의 온도 안정영역[3].

는 Micropipe, Planar Defects, Dislocation, Carbon Inclusion 등의 생성이 SiC 단결정을 상용화하는데 있어 가장 큰 걸림돌로 인식되고 있다. 여기서는 다양한 SiC 단결정 성장방법과 SiC 소재의 응용분야 등을 간단히 소개하고자 한다.

2. SiC의 특성

SiC는 Si와 C의 화합물인 한편 이온성을 가지는 Stoichiometric Compound로 200여 종이 넘는 결정형이 있다는 점이 특징이다. 주요한 결정형으로는 입방형 (Cubic), 육방형 (Hexagonal), 능면형 (Rhombohedral)이 존재하며, 결정구조가 다를 뿐만 아니라 적층 주기 또한 다른 특성을 가지고 있다. SiC는 대부분 Acheson법이라는 코크스 분말과 규사로부터 합성되어지며, 높은 경도 때문에 오래전부터 연마재료로써 폭넓게 이용되어 왔다. 또한, 내열성, 내식성, 열전도율이 높고, 열팽창률이 비교적 작아 현재 내화물용 원료로도 많이 이용되고 있다.

SiC는 β -SiC 또는 3C-SiC로 불리는 하나의 입방정상과 70여 종의 육방정상, 170여 종의 능면정상이 있고, 입방정을 제외한 나머지는 α -SiC로 통칭된다. 이

표 1. Poly-SiC의 특성[4].

기본성질			
결정 다형	3C	4H	6H
결정 구조	Cubic	Hexagonal	Hexagonal
적층 순서	ABCABC...	ABACABAC...	ABCACBABCACB...
밀도[g/cm ³]	3.21	3.21	3.21
유전율[ϵ_r]	9.71	-	9.66
유효 전자 수[m_0]	0.25-0.68	0.29-0.42	0.42-2.0
유효 홀 수[m_0]	0.6	~1	~1
격자간 거리[Å]	4.3596	a=3.0730 c=10.053	a=3.0806 c=15.1173
전기적 성질			
결정 다형	3C	4H	6H
밴드갭 에너지[eV]	2.36	3.23	3.0
절연파괴전압 [MV/cm]	1	3-5	3-5
전자 이동도(300K) [cm ² /V·S]	< 800	< 900	< 400
홀 이동도(300K) [cm ² /V·S]	< 320	< 120	< 90

중 가장 많이 나타나는 상은 3C, 4H, 6H, 15R 등이며, 이 중에서도 3C-SiC, 6H-SiC, 4H-SiC 등이 산업적으로 이용되고 있으며, 각각의 결정다형은 에너지 밴드갭 및 전하이동도 등이 달라 소자응용에 있어 선택적으로 연구되고 있다.

최근 들어, SiC가 가지고 있는 고출력과 고온에서의 작동 가능성 때문에 전자 디바이스영역에서 사용이 급증하고 있다. 높은 포화 전자 드리프트 속도 (~2.7×10⁷ cm/s)와 높은 절연 파괴전압 (~3 MV/cm) 그리고 높은 열전도율 (~5.0 W/cm)을 갖는 SiC는 고온, 고전압 그리고 고출력영역에 적합한 재료이다. 또한 SiC를 이루는 Si과 C의 높은 결합에너지는 SiC를 화학적으로 안정하게 해준다. SiC는 기존에 사용되고 있는 Si나 GaAs 등의 반도체 기술들을 대체할 수 있는 재료이다. 고온, 고전압환경에서의 동작이 가능한 SiC는 냉각장치나 전환 장치 없이 장비의 전기적 동작이 가능하며 부피감소를 이룰 수 있어서 저비용, 고효율의 장비를 구현할 수 있다. 따라서 SiC 기판은 SiC를 이용한 전자기기의 발전에 중요한 열쇠가 된다. 그러나 SiC 기판 내부에 존재하는 Micropipe(단결정 내부에서 표면으로 뻗어져 나오는 아주 미세한 관모양의 결함)는 전자의 이동도 (Mobility)를 감소시켜 "Diode Killer Defect"라고 불려질 정도로 다이오드 제작에 아주 큰 걸림돌이 되고 있으며, 단결정 성장 시 직경성장에 악영향을 주기도 한다. 그러므로 모든 SiC 단결정 기판 제조 시 MPD(Micropipe Density)를 줄이는 것이 무엇보다 중요하다. 또한 산업적 이용을 높이기 위하여 SiC 기판의 직경향상과 최종 디바이스의 질을 결정하는 에피층(Epitaxial Layer)의 질적 향상을 이루어야 한다.

3. SiC 단결정 성장 기술

SiC는 1892년 Acheson에 의해 합성법이 알려진 이후 현재까지 다양한 단결정 성장기술이 확보되어 기판으로 생산되고 있다. 표 2는 주로 사용하고 있는 단결정 성장법들을 비교한 것이며, 이를 바탕으로 단결정 성장방법의 개요와 장·단점을 간략히 소개하겠다.

3.1 Lely법

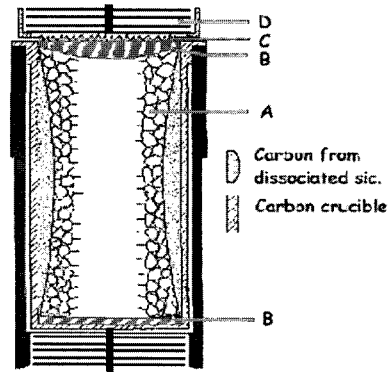
J. A. Lely는 1955년에 반도체 물질로 적합한 SiC 단결정 제조방법을 처음으로 고안하였는데, 이 방법

을 그의 이름을 따서 Lely법이라고 명명하였다. SiC 결정은 원료가 되는 SiC Powder를 다공질의 흑연사이에 놓고, 다공질 흑연사이에서 온도구배를 형성시켜 제조한다. 이때, 원료 물질의 온도는 보통 2200~2700℃ 사이로 유지되며, SiC 결정은 맞은편 다공질 흑연에서 핵이 생성되어 바닥면에서 수직인 방향으로 성장이 진행된다. SiC의 핵 생성은 다공질 흑연 내에 홀을 통해 조절되는 경우도 있다. 한번의 결정 성장 결과로 각기 다른 크기와 다른 결정다형을 가지는 결정들이 성장되는데(그림 2), 결정다형의 분포는 대개 6H-SiC가 75~95%를 차지하고 4H, 15R-SiC가 나머지를 구성한다. 그러나 8H, 21R, 33R-SiC와 같은 결정다형도 가끔씩 성장되는 것으로 알려져 있다. 하지만 Lely 결정은 크기가 제한되어 있고 결정모양 자체도 불규칙해 일정한 웨이퍼 형태로 공급할 수 없는 한계를 가지고 있다.

3.2 LPE(Liquid Phase Epitaxy)법

Sumitomo社에 의해 알려졌으며, 일반적인 벌크 결정 성장에 필요한 온도보다 훨씬 낮은 온도에서 단결정 성장이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 또한 성장과정에서 발생하는 Point Defect를 줄일 수 있으며, 원하지 않는 불순물들의 역제가 용이하고 성장 후 상온으로 냉각하는 과정에서 발생하는 Stress도 줄일 수 있다. 특히, 4H-SiC와 6H-SiC 단결정 성장

시 아주 높은 성장률을 얻을 수 있다(500 μm/h)[5]. 하지만 Si 용액에 대한 C의 용해도가 작고 Parasitic상 생성에 의한 불순물의 형성 때문에 단결정 성장이 제약을 받는다. 그리고 액상으로부터 단결정을 성장시킬 때, Si 용액의 반응성이 매우 크기 때문에 Crucible 선택에 문제가 있다. 이에 대한 해결책으로



CE A - Original sic lumps with growth of new platelike crystals.
 B - Dense layers of sic.
 C - Intergrown and twinned mass of sic platelets with cubic overgrowth.
 D - Hex. and cubic whiskers on radiation shields and further furnace parts.

그림 2. SiC 단결정 성장을 위한 Lely법의 개략도[6].

표 2. SiC 단결정 성장법의 항목별 비교표[5].

	Sublimation	HT CVD	VLS Vapor Liquid Solid	Hetero-epitaxy	LPE Liquid Phase Epitaxy
Typical growth rate	200 to 400 μm / hour	~ 300 μm/hour	100 μm / hour (mm/h expected)	50 μm / hour	500 μm / hour
Growth temperature	2200 to 2500 °C	2200 °C	1100 °C	1350 °C	1460 to 1800 °C
Polytypes obtained	4H & 6H	4H & 6H	3C	3C	4H & 6H
Main players	Cree (US) SiCrystal (D) II-VI (US) Dow Corning (US) Nippon Steel (J) Siron (J) Bridgestone (J) Intrinsic (US)	Norstel (SW) (Olmec)	CRHEA (F)	Hoya (J)	Sumitomo (J) (Si-Ti-C in liquid phase)

Note: IQE is distributing DowCorning 4H wafers in Europe
 Intrinsic is held by Cengiz Balkas, formerly Sterling

Siliconized Graphite Crucible을 사용하는 것과 Crucible에 열분해 증착된 Graphite Film을 입히는 것이 제시되고 있다. 또 다른 문제는 Si 용액을 사용할 때, 적당한 C의 용해도를 얻으려면 1700 °C 정도의 온도가 필요한데, 이온도에서는 Si의 기화가 빠르게 진행되어 잉곳 성장이 어렵게 된다. 그러므로 LPE법은 순도를 증가시키고 구성 성분의 수를 줄이는 관점에서는 가장 좋은 성장법이 되지만, 반응성과 증기압의 관점에서는 그렇게 좋은 성장법이 아니다. 그래서 LPE법의 문제점을 해결할 방안으로 다른 Solvent를 사용하는 방법도 제기되고 있다.

3.3 CVD(Chemical Vapor Deposition)법

Si 함유기체(SiH_4 , $SiCl_4$ 등)와 탄화수소기체(CH_4 , C_2H_4 , C_3H_8 등)를 열분해 시켜 SiC 단결정을 성장시키는 방법이다. CVD법은 우수한 막 특성과 함께 조성 조절의 용이성 등이 뛰어나며 상업적으로 이용 가능한 기술이다. 특히, CVD법은 결정이 성장하는 동안 소스 가스들의 C/Si 비율을 자유로이 조절할 수 있어, Micropipe가 폐색되는 확률을 조절하는 것이 가능하다. 또한 고순도의 결정을 성장시킬 수 있고 동시에 불순물의 농도를 제어하여 도핑 레벨을 조절하고, 벌크성장과 기존의 Epitaxial 성장을 같이 진행할 수 있는 이점이 있다. 일반적인 CVD법(그림 3)은 1500~1600 °C의 증착온도에서 약 2~3 $\mu m/h$ 의 증착 속도를 갖는다. 그러나 우수한 결정질을 갖기 위해서는 적절한 전구체의 선택과 여러 공정 변수들로 구성되는 증착조건의 미세하고 정확한 조절이 필요하다. 또한 실리콘 함유기체의 폭발성과 독성이 강하여 위험한 점과 성장률이 낮은 문제점이 있다. 이에 증착 속도의 향상을 위해 HTCVD(High Temperature Chemical Vapor Deposition) 방법이 이용되고 있다[5].

3.4 Sublimation(Modified Lely)법

Sublimation법(승화법)은 가장 일반적으로 사용되고 있는 기술로써, 러시아의 Tairov와 Tsvetkov 및 Ziegler 등에 의해 처음으로 보고 되었다. 이 방법은 종래의 Lely법과 같이 가압된 분위기에서 승화반응을 이용한 성장법과는 달리, 감압된 분위기에서 승화반응을 제어함이 특징이다. 즉, SiC 분말이나 다공성 SiC 소결체를 고온에서 승화시켜 상대적으로 저온영역에 위치한 종자정(Seed Crystal) 위에서 응축하게 하여 결정을 성장시키는 방법으로 대구경의 결정을 제조할 수 있는 장점이 있다. 자세히 설명하면

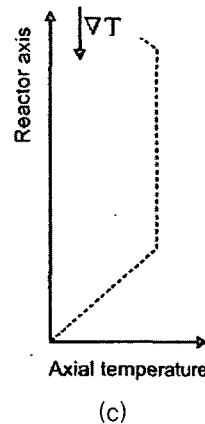
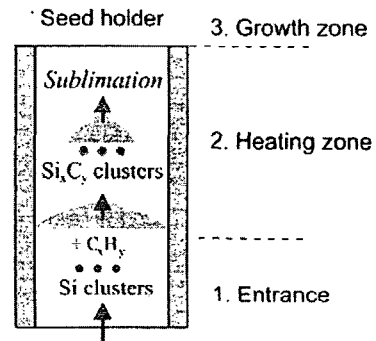
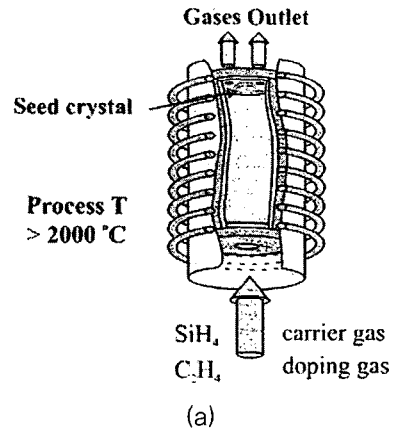
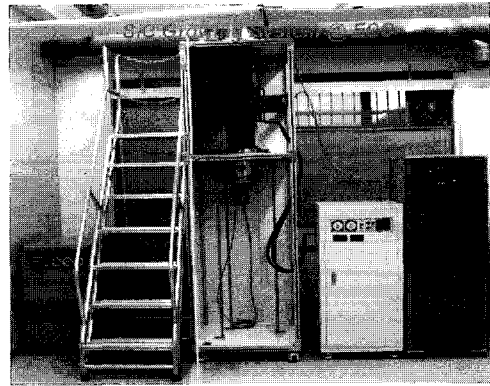


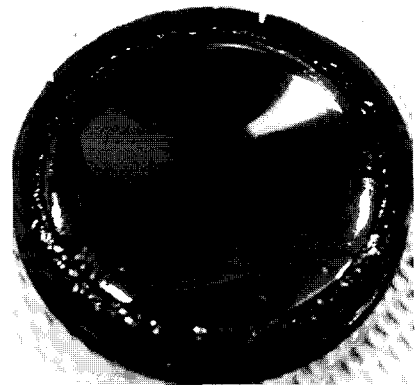
그림 3. SiC 단결정 성장을 위한 CVD법의 개략도.

도가니 내부를 원료 분말구역과 결정 성장구역으로 구분할 수 있는데, 원료 분말구역 온도를 결정 성장 구역보다 높게하여, 온도구배(ΔT)를 설정한다. 이때, 원료 분말구역의 온도를 SiC의 승화 온도로 설정해야지만 원료가 열분해하여 Si, Si₂C 및 SiC₂ 등으로 승화가 되며[7], 각각 다른 종류의 Si와 C의 화합물이 가스 상태로 공급되어 종자정 위에 SiC으로 재결정될 수 있다. 하지만 Sublimation법은 높은 성장률과 대구경화의 용이성이라는 장점 이외에 큰 단점이 존재하는데, 결정의 성장속도 및 결정의 질 제어에 많은 영향 인자들이 존재하여 재현성 확보가 어렵다는 것이다. 주로 사용재료의 순도, 도가니의 기하학적 구조, 종자정의 질 및 종자정 부착 상태, 도가니 상·하부의 온도구배, 석영 반응관 내 분위기 압력 등 잘 알려지지 않은 수많은 인자들에 의해 결정성장의 양상이 지배되기 때문이다. 특히, SiC 단결정 성장은 닫힌계(Closed System)에서 일어나므로, 제어가 더욱 더 어려워 세심한 조절이 필요하다(그림 4).

Sublimation법은 큰 단점에도 불구하고 SiC 결정 성장에서 가장 효율적이고 쉽게 상용화할 수 있기 때문에 현재 세계 각국의 연구소 및 기업체에서 고품질 SiC 단결정 성장을 위해 여러 가지 방법으로 연구되고 있다. 그 예로 Graphite 도가니 내부 구조를 변경(도가니 내부에 Inner Tube 장착)하여 다결정 혼입을 억제시키거나, Ta를 사용하여 Carbon의 혼입을 초기에 제어하여 결정질을 높이는 방법(그림 5), 수소 Gas를 사용하여 결정질을 높이는 방법 등



(a)



(c)

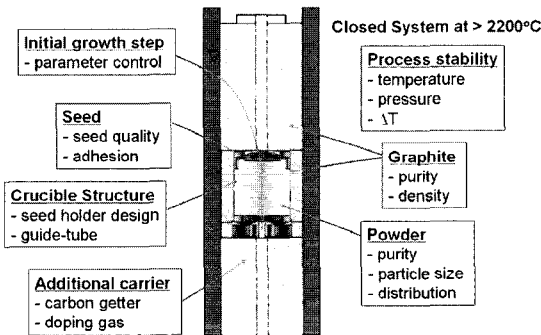
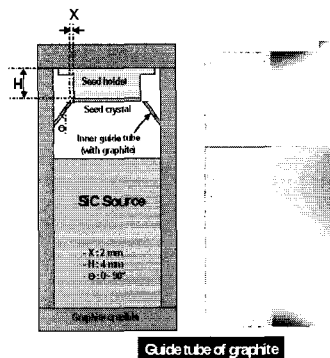


그림 4. Sublimation법에서 성장률 및 결함 형성에 영향을 주는 인자들.



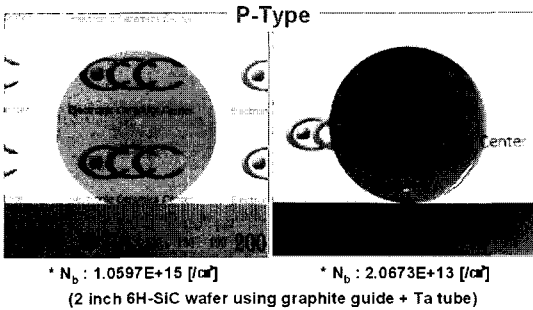
Internal gas Part

$\Delta T = 13.92K$
 Max = 2644.77K
 Min = 2631.85K

Powder Part

$\Delta T = 34.50K$
 Max = 2645.34K
 Min = 2610.84K

(b)



(d)

그림 5. Ta 재질 Inner Tube를 사용하여 성장된 SiC 잉곳 및 웨이퍼.

Sublimation법을 더욱 발전시킬 여러 가지 지속적인 연구가 진행되고 있는 실정이다[8].

3.5 기타 성장법

(1) VLS(Vapor Liquid Solidification) : 이 기술은 Carbon 분위기 내에서 액상 상태 Si의 계면에 SiC를 형성시키는 방법이다. Si의 대략적인 탄화 온도인 1500 °C 이하에서 실시되며, 입방정의 Si 때문에 입방정인 3C-SiC가 얻어진다. 이 기술은 아직 초기 연구단계로 많은 가능성을 내포하고 있다[5].

(2) Hetero-epitaxy SiC on Silicon : Si이 입방정 SiC Epitaxial 층을 형성하기 위한 희생기판으로 사용된다. 즉, SiC 층이 충분히 두껍게 형성되면, Si 기판을 제거하는 것으로 이제 막 시제품 단계로 진입한 기술이다[5].

4. SiC 소재의 응용 분야

지금까지 SiC 웨이퍼의 90~95 %가 청/백색 LED와 청색 레이저 다이오드를 위한 질화물 에피택셜의 기판으로 광전자 분야에서 사용되었다. 하지만, 현재 새로운 공법으로 인해 사파이어, 실리콘, 벌크 GaN 등으로 고품질의 질화물 층을 얻는데 성공함으로써 SiC 웨이퍼의 자리를 위협하고 있는 추세이다. 그러므로 SiC 소재는 여타 소재보다 월등한 특성을

나타내는 고전압과 고온 동작의 가능성을 가지는 분야로 특화해야 할 필요성이 대두되었다. 즉, 쇼트키 다이오드(Schottky Diodes)와 MESFET, RF 트랜지스터 등이 SiC 소재가 나아가야 될 분야가 된 것이다. 자세한 분류는 그림 6에 나타내었다.

기존의 쇼트키 다이오드의 경우 스위칭(Switching) 속도가 빠른 반면 항복 전압이 낮고 누설 전류가 큰 단점이 있다. 특히, Si를 이용한 쇼트키 다이오드는 접촉 비저항이 크고, 에너지 장벽이 낮아서 누설 전류가 크며, 최대 항복 전압이 약 80 V 정도로 제한된다. 이에 반해 SiC 소자는 Kneifel에 의하여 전형적인 SiC 쇼트키 다이오드의 모델이 제안되었으며, 현재는 1000 V 이상의 높은 항복전압 값을 얻었다. 또한 Itoh는 edge termination을 B로 이온 주입한 소자를 이용하여 1100~1750 V의 항복전압을 얻었고, Cooper는 Ni과 Ti를 이용하여 각각 1720 V, 1500 V의 높은 항복전압값을 구하였다.

MOSFET은 입력 임피던스가 높고 스위칭(Switching) 속도가 빠르기 때문에 전력용 소자로서 많이 응용된다. SiC MOSFET의 경우 Si에 비해 10배 이상의 항복전압을 가질 수 있으며, SiC는 Si와 같이 열 산화에 의하여 SiO₂를 얻을 수 있는 장점이 있다. 하지만, SiC/SiO₂의 계면에 발생하는 Interface Trap State의 문제는 아직 개선되어야 할 과제이다.

JFET은 On-resistance와 포화 전압이 낮고 고속 동작에서 전도손실이 작으며, 열특성이 우수하기 때문에 고전력 소자에 적합하다. 또한 JFET의 p+게이트는 금속 Schottky 게이트보다 에너지 장벽이 크며 SiC MESFETs에 비하여 누설 전류가 적으며, 게이트

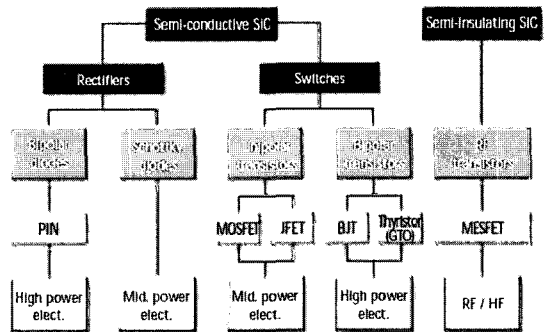


그림 6. SiC 소자의 응용 분야[9].

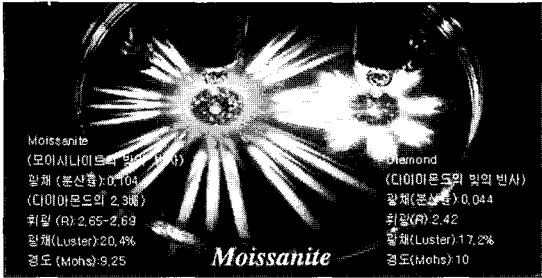


그림 7. SiC(모이사나이트)와 다이아몬드의 빛 반사 비교[10].

산화물이 없기 때문에 SiC MOSFET보다 높은 온도에서 작동할 수 있다. Dr. Philip G, Neudeck은 100 V에서 작동하며 600 °C에서 30시간 이상 특성 저하를 보이지 않는 SiC JFET을 발표했고, Cree Research Inc.에서는 850 MHz에서 1.3 W/min의 출력을 갖는 SiC Lateral JFETs를 이미 오래 전에 개발하였다.

한편 SiC는 1893년 프랑스의 노벨상(화학) 수상자인 앙리 모이사나박사가 최초로 다이아블로 계곡의 운석에서 발견한 이후 지구 상에서 다이아몬드와 가장 똑같은 성질을 가지면서 다이아몬드 보다 더 높은 광채와 휘광성, 인성을 지닌 소재로 판명되었다. 이로 인해 SiC를 보석용(모이사나이트)으로 이용하기 위한 연구가 진행되어 왔는데 결국 1998년 미국의 Charles & Colvard社에서 Lab-Created 방식으로 결정 성장에 성공하면서 보석용 SiC의 독점 생산이 개시되었다. 특히, Charles & Colvard社에서 성장시킨 SiC는 굴절률이 2.65(다이아몬드 : 2.42), 분산률이 0.104로 다이아몬드보다 2.36배 높은 광채(그림 7)를 보여 보석용으로 가치가 아주 높고, 가격이 천연 다이아몬드에 비해 10분에 1이므로 이미테이션용 보석으로 구매하려는 소비자가 점점 증가하고 있는 실정이다[10].

5. SiC 단결정 기술 발전 동향 및 현황

국내 정부관련 연구소에서 1999년부터 산업자원

부 차세대 신기술 개발 사업으로 “SiC 반도체 기술 개발” 연구가 시작되었다. 한국전기연구원이 총괄하여 진행한 이 사업은 12개 산학연 등, 관련 기관이 참여했으며 SiC MOSFET와 쇼트키 다이오드, 고주파 MESFET 및 IC 기술 개발과 함께 SiC 기반 공정 기술을 동시에 개발하였다[11]. 민간 기업체는 최초로 (주)크리스밴드에서 2inch 6H-SiC 단결정 웨이퍼를 상용화하여 판매를 개시하여 외국기업과 경쟁하고 있는 실정이다. 한편 미국의 경우는 정부관련 연구소로 해군연구소, NASA Glenn Research Center 등과 민간 기업체 Cree, Westinghouse, Rockwell International Science Center, Kulite Semiconduct, ATM, Northrop Grumman 등에서 활발하게 연구를 수행하고 있다. 일본의 관련 연구기관으로는, 국공립기관으로 산업기술종합연구소, 일본 원자력연구소 등이 있고, 대학으로는 교토대학, 교토 공예섬유대학, 오사카대학, 오카야마대학, 호세이대학, 아이치교육대학, 도쿄이과대학, 토카이대학 등이 있다. 또한 민간 연구기관으로는 산요전기, 신일본제철, 샤프, 도시타 재료연구소, 도요타 중앙연구소, 닛산자동차 기초연구소, 호야 재료연구소, 간사이 전력, 후지전기, 후지쯔 연구소 등에서 활발히 수행하고 있다[13]. 특히, 선진기술을 가진 국외에서는 3인치 웨이퍼가 상용화되었고, 4인치 웨이퍼 성장이 가능해졌으나, 현재까지 웨이퍼 내의 면결함, 균열, 결정도메인, Micropipe, Dislocation 및 적층 결함 등의 제어가 힘든 실정이다. 하지만, 최근 일본의 도요타연구소에서 발표한 ‘성장된 잉곳의 면방향을 바꾸면서 반복적으로 성장시키면 Micropipe가 없는 고품질 SiC 단결정을 성장시킬 수 있다’는 고무적인 결과가 보고되기도 했다[12]. 특히, 미국의 Cree社 ‘3인

표 3. SiC 반도체 시장규모 예측[15].

[단위:억원]

분야	시장규모			
	2006년		2010년	
	세계	국내	세계	국내
SiC 전력소자	13,000	1,500	40,000	3,200
SiC 발광소자	6,000	300	12,000	1,500
SiC 고온소자	2,000	100	7,000	500
SiC 단결정	7,000	500	20,000	2,200

*출처 : 산자부 보도자료, 2003/01/11

치 이상의 상용화된 웨이퍼를 시판하고 있으며, 최근 Intrinsic社를 합병하여 웨이퍼 직경 2,3인치 이내에서 Micropipe가 전혀 없는 ZMP(Zero Micropipe) 웨이퍼를 구현하였다. Cree社는 현재 4인치 제조 기술을 확보하고 있는 것으로 알려져 있으며, 곧 상업적으로 양호한 4인치 웨이퍼가 공급될 것으로 예상된다. 에피층의 질도 아직은 개선의 여지가 많은데, 현재의 기술로는 두께 약 30 μm , 불순물 농도 $\sim 10^{14}/\text{cm}^3$, 균일도 95 % 정도의 것을 얻을 수 있다. 그리고 소자 제조 기술분야는 소재 및 공정 기술에서의 급격한 기술 진보에 힘입어 실험실 규모에서는 이론적 특성에 접근하는 연구결과를 얻고 있으며, 실용화가 가장 먼저 될 것으로 예상되는 MESFET 혹은 JFET 은 시제품이 제작되어지고 있는 실정이다[13].

1994년부터 2001년 사이 SiC 반도체의 세계 시장은 연평균 45 % 이상 성장하였다. 향후 2010년도에는 SiC 개별 전력 반도체 세계 시장 규모는 대략 40~60억 \$ 정도로 예상되며, 재료 및 소자의 합산은 약 100억 \$에 달할 것으로 예측이 된다. 그리고 신규 시장의 규모는 80 %, 대체 시장은 20 %로 예상된다. 2001년에는 약 200,000장의 SiC 웨이퍼가 생산되었고, 2007년에는 약 800,000장 정도가 생산될 것으로 추정된다. SiC 웨이퍼 시장은 향후에도 상당히 증가할 것으로 전망된다[14].

6. 결론

현재 세계적 공통과제로 부각되고 있는 에너지와 지구 환경문제 중 에너지 총 소비에서 약 35% 정도를 차지하고 있는 전기 에너지 절약기술의 중요성이 점차 증가하고 있다. 따라서 기존의 실리콘 전력소자에 비하여 이론적으로 전력 소모가 1/100인 SiC 전력 소자 개발은 획기적인 에너지 절감효과가 있을 것으로 판단된다[11]. 이와 같이 SiC 반도체 소자는 그 우수한 특성으로 인해 미국, 일본, 유럽 등 기술 선진국에서는 이미 상당한 수준의 기술 개발이 이루어져 있으며, 거대 프로젝트를 구성하여 연구에 박차를 가하고 있는 실정이다. 국내에서는 소수의 대학과 기업이 SiC 단결정과 소자기술에 대한 연구를 진행하고 있으나, SiC 소자를 산업적으로 이용하지 못하거나 이제 막 진입한 실정이다.

SiC는 획기적인 전기 에너지의 절감효과와 비용

절감 및 극한 환경에서도 사용될 수 있기 때문에 관련 산업분야에 파급 효과가 클 것으로 판단된다. 따라서 이미 기술 선진국에서는 원천기술을 확보한 상태에서 실용화를 서두르고 있는 실정이다. 지금의 상황에서 하루 빨리 국내에서도 더 많은 연구와 지속적인 지원이 이루어져야만 SiC 관련 기술의 경쟁력을 확보할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] 산업자원부, SiC 반도체기술개발 기획보고서, '99 차세대신기술 기획사업 최종 보고서.
- [2] 강승민, A Study on the etch pits morphology and the defects in as-grown SiC single crystals, Journal of the Korean Association of Crystal Growth, Vol. 10, No.6, p. 373-377, 2000.
- [3] N.W. Jepps and T.F. Page, "Polytypic transformations in Silicon Carbide" in 'Crystal growth and characterization of polytype structures', Chap. Eds, P. krishina(pergamon press. Oxford), 1983.
- [4] National Compound Sedmiconductor Road-map.
- [5] YOLE DEVELOPPEMENT, Wide bandgap materials and devices for RF applications Market Analysis, March 2005.
- [6] Schaffer, W.J., et al., "Conductivity Anisotropy in Epitaxial 6H and 4H-SiC" Mat. Res. Soc. symp. Proc., Materials Research Society, Vol. 339, P. 595-600, 1994.
- [7] 방욱, 김은동, SiC 단결정 성장 기술, 전기전자 재료 학회지 제 15권 제 6호, p 3 - 10, 2002.
- [8] Kap-Ryeol Ku, Jung-Gyu Kim, Jung-Doo Seo, Ju-Young Lee, Myung-Ok Kyun, Won-Jae Lee, Geun-Hyoung Lee, Il-Soo Kim, and Byoung-Chul Shin "High Quality SiC Crystals grown by the Physical Vapor Transport Method with a New Crucible Design" Materials Science Forum Vols. 527-529 (2006) pp. 83-86.
- [9] YOLE DEVELOPPEMENT, 2003-2009 SiC market 'analysis for material, devices and applications'.
- [10] <http://www.worldgem.co.kr/>
- [11] 김은동, SiC 반도체 기술현황과 전망, 전기전자재료학회지 제 14권 제 12호, p. 11-14, 2001.
- [12] Daisuke Nakamura, Itaru Gunjishima, Satoshi Yamaguchi, Tadashi Ito, Atsuto Okamoto,

Hiroyuki Kondo, Shoichi Onda and Kazumasa Takatori. "Ultrahigh-quality silicon carbide single crystals" Nature 430, 1009-1012(26 August 2004).

- [13] 이용재, 탄화규소(SiC) 반도체의 기술동향, 동의대학교 전자공학과.
- [14] .YOLE DEVELOPMENT, "SiC 05": 2003-2009 Silicon Carbide Market analysis.
- [15] 산자부 보도자료, 2003/01/11.



성명 : 신병철

- ◆ 학력
 - 1984년 연세대 세라믹공학과 공학사
 - 1986년 KAIST 재료과학과 공학석사
 - 1988년 KAIST 재료공학과 공학박사

- ◆ 경력
 - 1988년 9월 - 1996년 2월 New Material Div. Posco RIST Research
 - 1990년 2월 - 1990년 8월 (USA) Pennsylvania state Uni. MRL Visiting Scientist
 - 1991년 10월 - 1992년 12월 (JPN) The Uni. of Tokyo RCAST Visiting Researcher
 - 1996년 3월 - 현재 Dongeui Uni. (Dept. of Nano Technology) Professor
 - 2001년 6월 - 현재 Electronic Ceramics Center (RRC) Director
 - 2002년 - 현재 Electronic Ceramics Center (TIC) Director

저자약력



성명 : 김정규

- ◆ 학력
 - 2002년 동의대 신소재공학과 공학사
 - 2004년 동의대 신소재공학과 공학석사
 - 현재 동의대 정보통신·소재공학과 공학박사과정

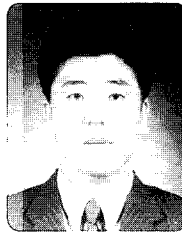
- ◆ 경력
 - 2002년 - 2003년 동의대 전자세라믹센터 연구조교
 - 2004년 - 현재 동의대 전자세라믹센터 연구원



성명 : 이원재

- ◆ 학력
 - 1990년 KAIST 재료공학과 공학사
 - 1995년 KAIST 재료공학과 공학박사

- ◆ 경력
 - 1995년 - 1996년 KAIST 전자세라믹소재연구소 연구원
 - 1996년 - 1997년 미국 North Carolina State University 재료공학과 연수연구원
 - 1997년 - 2002년 ETRI 반도체원천기술연구소 선임연구원
 - 2002년 - 현재 동의대 나노공학과 조교수



성명 : 구갑렬

- ◆ 학력
 - 2001년 동의대 신소재공학과 공학사
 - 2003년 동의대 신소재공학과 공학석사

- ◆ 경력
 - 2003년 - 2004년 동의대 전자세라믹센터 연구원
 - 2004년 - 현재 (주)크리스밴드 대표이사