

승화법에 의한 SiC 단결정 육성

강승민, 오근호

한양대학교 무기재료공학과, 서울, 133-791

6H-SiC single crystal growth by sublimation process

Seung Min Kang and Keun Ho Orr

Department of Inorganic Materials Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

요 약 자체 제작된 승화법에 의한 결정성장 장치를 이용하여, 6H-SiC 단결정을 성장하였다. Acheson법으로 얻어진 6H 결정을 seed substrate로 사용하였으며, SiC source로부터 분해된 승화 증기가 seed상에서 육성되도록 흑연 도가니내의 온도구배 및 성장 온도와 압력을 유기적으로 조절하였다. 성장 전 graphite 도가니 구성부와 SiC 원료에 대한 purification을 행함으로써 성장결정 내부로의 불순물 혼입이 억제되도록 하였다. 결정 성장시의 육성 조건으로 도가니 바닥의 온도는 2300~2400°C였으며, 성장로 내부의 분위기 압력은 200~400 torr에서 양질의 단결정을 얻을 수 있었다. 성장된 결정을 두께 1.5 mm의 wafer로 제작하여 XRD와 optical microscope로 관찰하였고, FT-IR spectrum으로 분석하였다.

Abstract 6H-SiC single crystal was grown by sublimation growth system which was self-designed and manufactured. In order that the SiC source might be decomposited and sublimed and deposited on the 6H-seed substrate grown by Acheson method, the temperature gradient, the growth parameters of growth temperature and pressure were operately adjusted. So we could get the optimum temperature gradient inside of the crucible. The graphite crucible with SiC powder and thermal shield componants were purified at the elevated temperature by means of Ar purging process and the source baking, then it distributed to reduce the amount of the impurities come from those parts. It was recognized that the optimum growth temperature of the crucible was 2300~2400°C at the Ar atmospheric pressure of 200~400 torr, and at that moment the growth rate was 500~1000 μm . And then, the as-grown crystal was cut with the wafer form, the evaluation about the crystal was carried out by XRD, the optical microscopic

observation and FT-IR spectrum measurement.

1. 서 론

SiC 단결정은 bandgap 에너지가 크고, 높은 열전도도를 가지며, 항복전압이 높기 때문에 청색 LED 및 자동차용 고온 센서 소자와 고주파 대역에서 사용가능한 고출력 소자 등으로 소자화하여, 차세대의 고속, 고출력을 요하는 광 및 전기, 전자분야의 첨단 응용기기에 핵심 소자로 응용될 수 있는 소자재료로 최근들어 각광을 받고있다. 이러한 응용성을 갖는 이유를 몇 가지의 물성치에 대하여 Table 1에 Si와 GaAs와 비교하여 나타내었다. 또한 SiC 결정은 Si과 GaAs 기판으로 된 반도체의 사용이 불가능한, 즉 고온, 고내전압, 고주파수 등의 가혹한 환경에서 작동이 가능한 반도체 소자재료로 주목받고 있다.

이러한 SiC 단결정은 1891년에 처음으로 E.G. Acheson에 의하여 다이아몬드 합성중 아르카 발생용 탄소 전극에서 우연히 육각 판상의 결정이 발견된 이후 1955년 Lely에 의하여 크기 약 8 mm 정도의 SiC 단결정이

처음 육성되었다[1]. 1960년에 G.A. Slack에 의하여 상평형도가 발표되었고, 2830°C에서부터 peritectic 반응이 시작됨을 보고하였다[2]. 이후 A. Suzuki등이 1976년에 p-n 접합에 의한 청색 LED를 제조[3]하여, 현재는 SiC를 기판 재료로 하는 반도체 소자들에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[4].

또한 대형의 bulk 단결정은 Lely 법을 수정한 승화법에 의하여 Yu.M Tairov등이 저항가열법에 의하여 얻어낼 수 있었다[5]. 이 방법에서는 흑연 도가니내에 SiC 원료의 승화된 증기가 다공질 흑연을 통과하도록 원료실을 따로 두고, 종자결정을 저온부에 위치시켜 결정 성장을 하도록 되어 있다. 그러나 이 방법은 지금까지 적용되는 SiC bulk 단결정 성장법으로 되어있으나, 이 공법에서는 공급되는 원료가 통과하는 porous carbon의 공극이 점차 막힘으로 인하여 증발된 기체의 유동량이 감소하기 때문에 성장 중 결정의 성장속도의 변동이 크고 또한 제어가 어렵다는 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 도가니에 원료를 직

Table 1
Electronic and physical properties of Si, GaAs and SiC

	Si	GaAs	β -SiC	α -SiC
Band gap energy ; E_g (eV)	1.12	1.43	2.20	2.86
Dielectric constant ; k	11.8	12.8	9.7	10.0
Saturated drift velocity ; v_{sat} (cm/sec)	1.0×10^7	2.0×10^7	2.5×10^7	2.0×10^7
Breakdown electric field ; E_B (V/cm)	3×10^5	4×10^5	4×10^6	4×10^6
Thermal conductivity ; s_t (W/cm · K)	1.5	0.5	5.0	5.0
Melting temperature ; M_p (°C)	1415	1238	2830*	2830*

*Dissociation temperature.

접 충전하여, 도가니의 상부에 종자 결정을 두어 증발된 SiC의 증기가 직접 증착하도록 하는 방법으로 하였으며, 이 때의 가열방법은 도가니를 직접유도가열하는 고주파 유도 가열법을 적용하여 도가니내의 온도구배 조절이 용이하도록 설계하여, 승화법에 의한 결정 성장 장치를 제작하였으며, 이를 이용하여 6H-SiC 단결정을 얻어내었다. 본 연구에서는 이에 대하여 결정성장의 최적 조건을 설정하였으며, 이를 보고한다.

2. 승화법에 의한 단결정 성장 장치

2.1. 승화법의 이론

SiC 단결정 성장시의 도가니에서 일어나는 일련의 반응을 원리적으로 도식화한 원리도

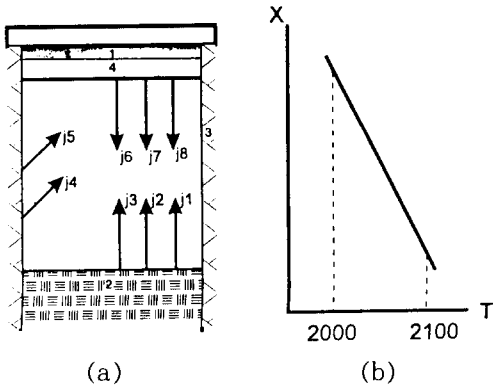


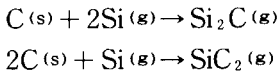
Fig. 1. (a) Schematic diagram of the various fluxes in the crystallization cell : 1. seed, 2. starting material to be recrystallized, 3. walls of graphite growth cavity, 4. growing silicon carbide crystal, (j1, j6) silicon fluxes from the source and growing crystal; (j2, j4, j7) Si₂C fluxes; (j3, j5, j8) SiC₂ fluxes and (b) Temperature profile along the cell.

를 Fig. 1에 보였다. 이 방법은 종래의 Lely 법과 같은 가압 상태에서의 승화 반응을 이용한 성장법과는 달리, 분위기 압력을 진공 중에서 제어함이 특징이라 하겠다. 본 연구에서도 이와 같은 원리도에 입각하여 성장 장치를 설계하고 제작하였으며, 마찬가지로 분위기압을 조절함으로써 성장요소를 제어하게 되는 공법을 택하였다.

본 공법에서는 종자결정과 원료 다결정 SiC를 일정한 거리를 두고 위치시키는 것이 결정 성장의 주요소로 작용한다. 이는 승화가 일어난 증기를 구성하는 입자들의 확산, 운동거리를 감안하여 조절한다. 도가니 영역의 온도분포는 원료 source의 온도를 종자결정보다 높게 하며, 온도구배 ΔT 를 설정하게 된다. 그리고, source의 온도를 SiC의 승화 온도로 설정함으로써 원료에서 각각 다른 종류의 Si와 C의 화합물이 가스상태로 공급되어 종자결정위에 SiC로 재결정화 한다. 결정의 성장속도 및 결정의 질의 제어는 주로 온도(종자결정의 온도, source의 온도), 온도구배, 분위기 압력에 의해서 결정되어지므로, 이들 요소의 유기적인 조절이 중요하다.

증기의 source와 성장하는 결정의 표면에서 일어나는 반응의 kinetics와 mass transfer의 양상을 알아보면, 진공중에서 결정 성장이 상압에서보다 훨씬 더 양질의 그리고 대형의 SiC 단결정을 성장할 수 있는 확률이 있음이 보고된 바 있다[5]. 종자결정을 사용하지 않으면 Lely법보다 우수한 gas의 흐름도를 만들 수 있으며, 다음과 같이 승화법에 대한 원리를 설명할 수 있다. (1) 핵을 형성하는 과정의 제어가 가능해진다. 다시 말하면, 물질의 이동은 소결되었거나 powder 상태로 있는 충전 원료의 분해에 의해서 초기에 생성된 Si, Si₂C, SiC₂ 등과 같은 가스들의 flux에 영향을 받게 된다. 따라서 이 때

Si와 C와의 반응으로 형성되어진 초기의 핵은 종자결정의 배열과 같은 방향으로만 배열하게 되기 때문이다. (2) 실리콘 증기(기체상인 Si₂C와 SiC₂의 증기압보다 초과하는 압력을 갖는다)는 성장이 일어나는 공간의 graphite벽과 반응한다. (3) 한편 graphite벽은 상대적으로 낮은 온도를 가지며, 이것은 Fig. 1의 (b)와 같은 온도구배가 설정되어 있다고 가정된 상태에서 이루어진다. 따라서, (2)와 같은 반응은 다음과 같은 반응식으로 나타낼 수 있고, 이러한 반응에 의해 반복적으로 Si₂C와 SiC₂가 계속 생겨나게 되는 것이다.



따라서, 이러한 system에서는 실리콘은 C를 운반하는 매개체(여기서는 C의 source는 graphite 도가니)로 되고, 성장하는 결정안으로 틀어 박히면서 하나의 물질의 flux를 형성하는 역할을 할 것이다.

진공하에서 결정성장을 행할 경우에는 Si, Si₂C와 SiC₂성분의 mean free path는 성장 공간에서 1차원적으로 매우 길어진다(Fig. 1(a)). 따라서 계에 존재하는 위에 언급한 종류의 flux를 모두 합하여 보면, 주된 성분들의 flux에 대하여 각 성분의 거리와의 함수로 나타내어질 수 있다. 따라서 이는 앞에서 언급한 종자결정과 source 표면과의 거리에 관여함을 알 수 있었다.

한편, 성장속도와 이들 flux들간의 관계를 보면 위에서 말한 종자결정과 source간의 거리가 크고 작음에 따라 구별된다. 거리가 길면 예를 들어 10 mm 이상의 flux는 배가 되어지고, 반대로 10 mm 이하일 때에는 source에서 부터의 분해 증발에 의한 flux만

이 주된 증기내의 flux가 되는데, 즉, 결정의 성장속도는 온도가 증가할수록, source와 seed간의 온도차가 클수록, 압력이 감소될수록, 그리고 결정과 source간의 거리가 감소될수록 증가하게 될 것으로 사료된다.

2.2. 결정 성장 장치

주파수 5~7 kHz의 RF generator를 이용하여 graphite 도가니를 가열하도록 하였으며, 도가니 내의 압력의 유지 및 조절을 위해 Ar gas를 넣어 주고, needle valve를 이용하여, 진공 pump에 의해 배기되는 gas의 양을 조절하였다. Optical pyrometer를 이용하여 도가니의 상부와 하부의 온도를 측정하였으며, 사용하는 도가니의 재질 및 두께에

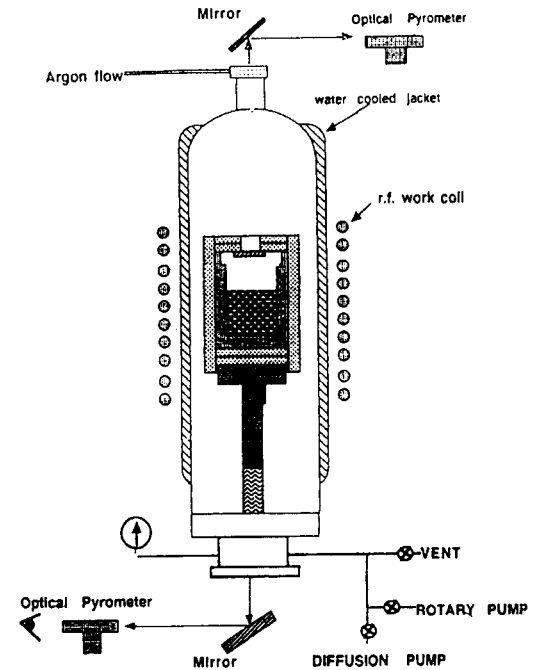


Fig. 2. The concept diagram of the inner chamber in the growth system.

따라 성장 조건이 달라짐을 알 수 있었다. 본 연구에서 자체 제작된 승화법의 성장 장치의 원리도를 Fig. 2에 보였다. 도가니의 주위는 같은 재질의 thermal shield를 사용하였으며, 이는 Alumina 또는 Zirconia 등의 단열재 사용시, 단열재로부터의 중금속 이온에 의한 성장시의 결정으로의 불순물의 함입을 방지하기 위함이었다.

도가니의 온도구배 즉, 종자 결정과 source간의 온도 구배는 결정 성장시의 성장 factor로 실험 결과 200 ~ 300℃의 범위내에서 조절하였으며, 이를 위하여 도가니의 수직적인 위치를 조절함으로써 work coil과 도가니의 위치를 변화시키면서 실험을 행하여, 성장 장치상의 적정 온도구배를 얻을 수 있었다.

3. 실험 방법

3.1. 성장용 도가니의 준비

반도체용 고순도의 재질을 가지며, graphite는 미세 grain의 고밀도 탄소를 CIP성형하고, 이 때 rubber press를 이용하여 제작된 등방성 흑연을 사용하였다. Graphite의 순도는 포함되어 있는 ash의 양에 따라서 순도에 결정적으로 영향을 미치는데, 본 연구에서 사용한 graphite의 경우는 약 20 ppm 정도의 ash분을 함유하는 고순도 graphite를 사용하였다. 또한 중금속 함유분은 Al < 0.3 ppm, Fe < 1 ppm, Mg < 0.1 ppm, Si < 0.1 ppm이 함유되어 있었다. 따라서, 결정성장을 행하기 전에 purification 과정을 두어 원료 및 도가니 내에 함유된 중금속을 제거하여, 흑연 도가니의 순도를 향상시킬 수 있었다.

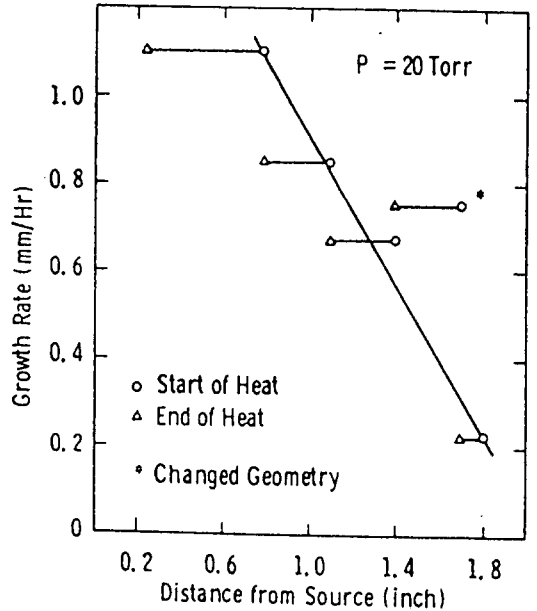


Fig. 3. The crystal growth rate is a strong function of the distance between the subliming source and the the surface of the growing crystal [6].

3.2. 종자 결정 및 원료의 충전

종자 결정은 Acheson법으로 성장된 결정으로, 6H형의 결정을 사용하였다. SiC의 source로는 순도 99.9%의 α-SiC상을 사용하였으며, 또한 예비 실험시는 원료로 일반 연마재를 사용할 경우도 있는데, 이때는 원료에 대한 전처리 과정을 거쳐 B, Al, Fe 등의 불순물을 제거한 다음 사용하였다.

도가니에 충전시 종자 결정과의 거리를 고려하였다. 원료의 표면과 종자 결정간의 거리는 20 mm였으며, 이 거리가 짧을 경우에는 성장 속도가 빨라지게 되어 결정의 질이 좋지 않았다. 이에 대하여 Fig. 3에 종자 결정과 source간의 거리에 따른 성장 속도의 변화추이를 보였다[6].

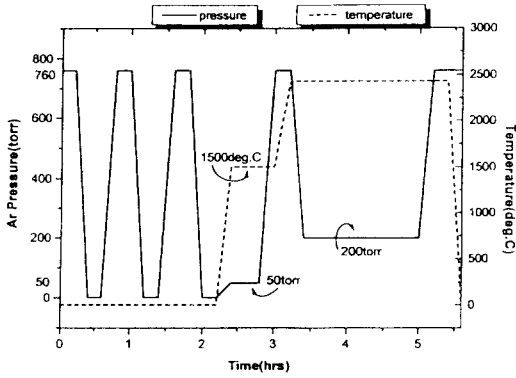


Fig. 4. The process of silicon carbide sublimation.

3.3. Purification 및 baking

결정 성장용 도가니를 장치에 장착한 후 도가니에 대한 purification을 행하였다. 대기압으로부터 약 10^{-4} torr까지 진공화하였다가 다시 Ar gas를 충전하는 형식으로 반복행하였다. 이렇게 함으로써 도가니속에 포함되어 있는 불순물 및 수분 등이 진공화 배기시 Ar과 함께 배기되도록 하여, 도가니의 산화를 막고, 흑연단열체 또한 같은 양상의 효과를 볼 수 있었다. Fig. 4에 결정성장 공정에 대한 온도와 압력의 profile을 나타내었다.

Purify된 도가니에 대하여 온도를 승온시켜 도가니내의 수분을 제거함과 동시에 중금속 등의 불순물을 제거하는 한편, 원료에 대하여 불순물을 제거하는 공정으로, calcination과도 같은 효과를 갖도록 한다. Baking 온도는 $1500 \sim 1700^{\circ}\text{C}$ 로 하였고 1시간 유지하였다. 대부분의 금속 원소들은 융점이 낮고, 그 이상 온도가 되면 승화하는 현상을 적용한 공정으로, SiC 중에 포함된 B, Al, V, Fe 등과 흑연에 포함되어 있는 Fe, Mg, Al 등의 성분을 휘발시킨다.

3.4. 결정의 육성

Baking이 끝나면 압력을 상승시켜 대기압을 유지하고 승온한다. 승온과정에서 너무 빨리 승온하면 증기압이 높은 gas압력 때문에 도가니의 뚜껑이 열려 결정의 성장이 되지 않거나 seed가 증발되고 탄소분만 남아 있게 되는 경우가 있으므로, $2300 \sim 2400^{\circ}\text{C}$ 의 온도까지 약 1시간에 걸쳐 승온하여 주었다. 충분히 도가니의 열량이 전 영역에 전달될 수 있도록 유지한 다음 감압하여 결정을 육성하였다.

결정 육성시의 압력은 성장 속도를 지배하는 성장 factor이다. 따라서 이에 대한 미세 조절이 요구되었으며, 본 연구에서는 $200 \sim 400$ torr에서 조절하여 결정을 육성하였다.

3.5. 결정 육성의 완료

결정성장 후 Fig. 4에서 처럼 압력을 승압하고 온도를 유지한다. 이는 성장된 결정의 표면에 잔존하는 carbon을 제거하기 위한 것으로 수 분 행한 후 결정성장을 마친다. 결

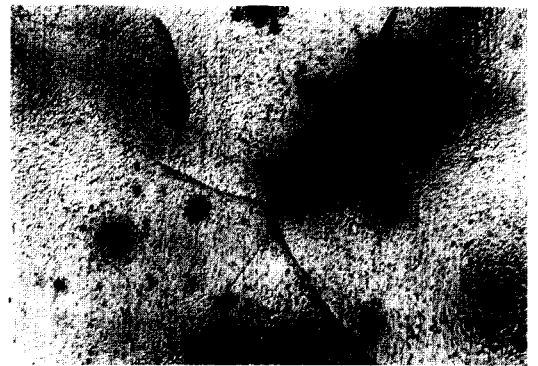


Fig. 5. The cracks around a micropipe (from a sliced 1 inch wafer) under the transmission microscope ($200\times$).

정 성장 후에 바로 열원을 제거하면 온도는 급속히 하강되며, Fig. 5와 같은 결정 성장시 생성된 micropipe 주변에 급냉시 생성된 crack이 발생됨을 알 수 있었다. 이는 micropipe 주변에 응집된 열응력에 의해서 발생되어진 것으로 사료된다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 6H-SiC 단결정

Fig. 6에 6H-SiC 결정을 절단, 연마하여 제작한 substrate를 보였다. 결정의 내부에 다량의 탄소가 혼입되어 있음을 알 수 있었으며, 이는 공기중에서 annealing함으로써 제거할 수 있었다.

SiC 결정은 도가니에 충전된 원료로부터 분해되어 나온 Si, Si₂C, SiC₂ 등으로 구성된 기상으로부터 증착되어 성장된다. 따라서 성장 온도 및 압력에 따라서 결정의 질에 직접적인 영향을 주며, 특히 종자 결정과 source 간의 거리는 결정의 성장 속도뿐 아니라, 승

화된 증기의 flux의 이동 양상에 영향을 주게되어 생성되는 결정의 Si/C비를 좌우하는 인자로 작용하였다. 뿐만 아니라 도가니내에 함유되어 있는 불순물이 결정내부에 혼입될 수도 있다. 따라서 흑연 도가니의 순도에 영향을 미치는 Ash의 성분 및 증금속등의 불순물 함량이 적어야만 결정의 품질을 향상시킬 수 있다고 사료된다. 또한, SiC에 발생하기 쉬운 결함으로 micropipe를 들 수 있으며, 성장 결정의 표면에서 용이하게 관찰된다. 이를 광학 현미경으로 관찰한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이에 대한 성장의 원인은 아직 정확히는 밝혀지지는 않았으나 나선 전위에 의한 spiral growth의 중심부에 형성된 전위의 중심점에서 발생된 부정합에 의해 야기되는 void의 생성일 것이라는 가설이 지배적으로 되어 있다.

Fig. 8은 Fig. 6의 결정에 대한 XRD pattern을 보인 것이며, $2\theta = 36.45^\circ$ 에서 6H의 특성 peak를 얻을 수 있었으며, 탄소 peak도 나타났다.

FT-IR spectrum을 측정하여 Fig. 9에 나타내었다. Substrate에 대한 측정 곡선으로

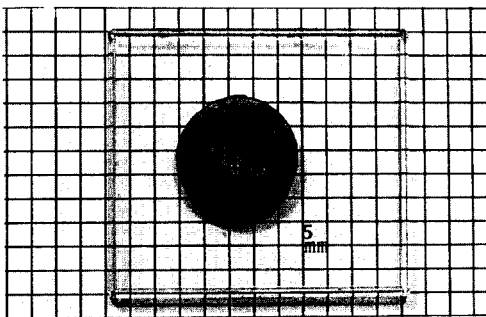


Fig. 6. 6H-SiC crystal was grown in the condition of the bottom temperature, 2300 ~ 2400°C and Ar pressure of 200 ~ 400 torr for 1.5 hours.



Fig. 7. Typical micropipes were observed under optical microscope on the surface of as grown 6H-SiC.

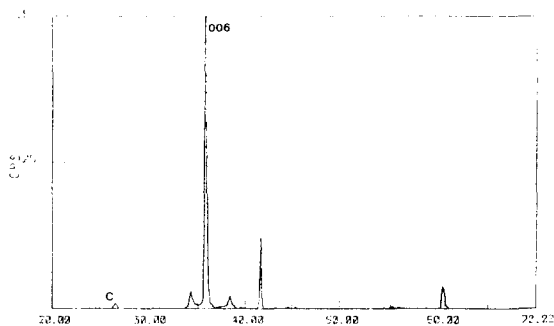


Fig. 8. XRD pattern of 6H-SiC bulk crystal.

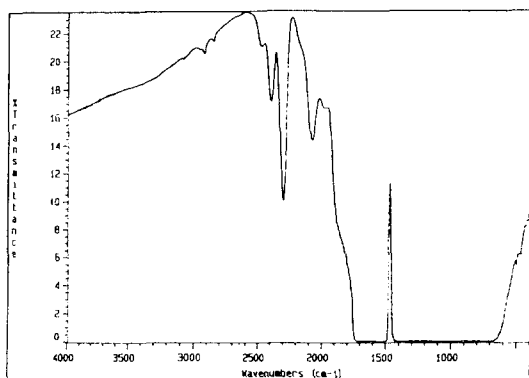


Fig. 9. FT-IR curve from as-grown 6H-SiC substrate crystal.

투과도는 별로 좋지 않았다. Tairov등이 보고한 바에 의하면 6H-SiC에 대한 굴절률 (n)을 계산하는 식으로

$$n = [1 + \sqrt{1 - T^2}] / T$$

를 제시하였다. 이 때 T는 가시 영역에서의 광투과도이다.

이론상의 6H의 굴절률 n=2.75 정도이지만, 본 연구의 substrate의 투과도는 상당히 떨어져 있음을 알 수 있었다. 이는 탄소등의 불순물이 혼입된 결과라고 사료된다. Fig. 8에서 wave number 2500 ~ 500 cm⁻¹ 사이의

흡수 band는 SiC의 격자 진동에 의한 것이며, 1500 ~ 500 cm⁻¹ 사이의 강한 흡수 band는 격자 진동들의 조합에 의해 형성된 것으로 보고되고 있다[6].

4.2. 성장 압력의 영향

감압 속도는 결정의 초기성장속도를 지배하게 되므로 너무 빨리 감압하면, 증기중 가스 성분중 탄소가 먼저 증착되어 버리게 되며, 이렇게 되면 더 이상 결정의 균일한 성장계면이 유지될 수 없게 되어 결정의 질이 좋지않음을 알 수 있었다. 광학 현미경하에서 관찰된 것을 Fig. 10에 보였다. 윗 부분에 rough하게 증식되어 있는 carbon의 양상이 나타나며, 다결정 부분에서는 grain boundary를 따라 탄소가 침입되어 있음을 보여주고 있다.

결정성장 압력은 온도가 고정되어 있으면, 성장속도를 좌우하는 요소이다. 따라서 성장 압력이 낮아지면 증기의 증발속도 또한 증가되고 증착속도, 즉 성장속도를 증가시킨다. 그러나 온도가 높아지면 성장속도의 변화율

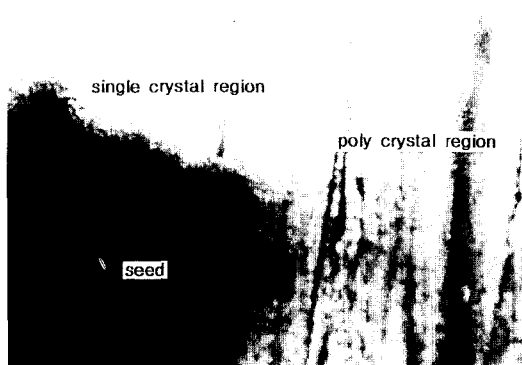


Fig. 10. The magnified photograph from the optical microscope observation for a part near substrate edge (100×).

은 압력 의존성보다는 온도 의존성으로 되는 경향을 보인다. 따라서, 온도가 일정한 온도를 넘어서게 되면, graphite의 고온 산화 현상으로 도가니로 부터의 C의 발생량이 증가하기 시작하여 결정에 대한 Si 대 C의 비율이 낮아지면서, carbon-rich상으로 전환됨을 알 수 있었다. 또한, 고온에서는 종자 결정 기관의 온도도 증가하므로 결정으로 부터 성장 공간에 존재할 수 있는 gas성분들의 재분해 현상이 발생하기 때문에 성장 결정의 계면은 매우 rough하게 되며 양질의 단결정을 성장하기가 용이하지 않았다.

Table 2

The change of the growth rate due to a degree of variation of atmospheric condition at constant temperature

Ar pressure (torr)	Growth rate (mm/hr)	Crucible bottom temperature(°C)
300 ~ 400	< 0.5	
200 ~ 300	0.5 ~ 0.8	
150 ~ 200	1 ~ 1.3	2300 ~ 2500
100 ~ 150	2 ~ 3	
< 100	> 3	

Table 3

The growth results according to the variation of the temperature gradient and growth rate

Temperature gap (°C) crucible lid - bottom	Growth rate (mm/hr)	Result	Description
500 ~ 700	—	Carbonized crystal	Crucible was sublimated. Much higher growth rate
400 ~ 500	1 ~ 3	Clean surface, micropipes	No step formation
200 ~ 400	0.5 ~ 1	Hexagonal step growth	Spiral step growth
< 200	< 0.5	Thin layered crystal	Low growth rate as in CVD

본 연구에서는 성장압력을 200 ~ 400 torr의 범위에서 조절하였다. 성장온도는 2300 ~ 2500 °C (generator의 출력 변동 및 결정 성장시 whisker 발생에 의한 pyrometer 관찰구의 가려짐에 따른 측정 온도)에서 조절하여 성장속도 0.5 ~ 1 mm/hr로 성장된 결과가 비교적 양질의 단결정을 얻어낼 수 있었다. Table 2에 압력 변화에 따른 성장속도의 변화추이를 나타내었다.

4.3. 온도 구배의 조절 및 영향

도가니 setting시 work coil과의 상대적인 위치를 조절함으로써 온도구배를 조절하였다. 성장조건에 대한 변수를 줄이기 위하여 온도구배에 영향을 주는 요소인 1) 도가니의 위치, 2) work coil의 각 turn간의 간격, 3) 도가니벽 두께등의 변수를 정하였으며, 2)항과 3)항의 변수조건을 고정하고 실험을 행하여 1)항에 대한 조건을 설립하였다.

승화법에 의한 단결정 성장시 가장 중요한 factor로 source의 온도가 같을 때 온도 구배가 크면, SiC의 다형중 하나인 3C가 생성된다. 3C는 6H와 함께 2000 °C 이상의 고온에서도 존재할 수 있는 6H 다음의 제 2의

안정상으로 알려져 있다[9]. 따라서 성장시의 온도구배를 100 ~ 200 °C로 조절하여야만 양질의 6H-SiC를 얻을 수 있음을 알았다. 이상과 같은 조건하에서 Table 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 온도구배가 커짐에 따라 성장 속도도 증가됨을 보였다.

5. 결 론

자체 제작된 승화법에 의한 결정 성장 장치에 의해서 6H-SiC 단결정을 성장하였으며, 단결정 성장시의 각 요소에 따른 결과를 광학현미경으로 관찰하였다. 또한 void의 일종인 micropipe도 다량 생성이 되었으며, 약 1000개/cm² 정도가 관찰되었다.

SiC 단결정에 대한 성장 조건을 수립하였으며, 최적 성장 조건은 성장 온도는 2300 ~ 2400 °C, 성장 압력은 200 ~ 400 torr, 그리고 성장 속도는 0.5 ~ 1 mm/hr임을 알았다.

참 고 문 헌

- [1] A. Lely, Ber. Deut. Keram. Ges., 32 (1955) 229.
- [2] R.I. Scafe and G.A. Slack (in Silicon Carbide, 1959), J.R. O'Connor and J. Smiltens, (Edt.: Pergamon Press, New York, 1960) p. 24.
- [3] A. Suzuki, M. Ikeda, N. Nagano, H. Matsumani and T. Tanaka, J. Appl. Phys. 47 (1976) 4546.
- [4] J.W. Palmour, H.S. Kong, D.G. Waltz, J.A. Edmond, and C.H. Carter Jr., Proc. First Intl. High Temp. Electronics Conf., D.B. King and F.V. Thome, eds., (Sandia National Labs, Albuquerque, NM, 1991) p. 511.
- [5] Yu.M. Tairov and V.F. Tsvetkov, J. Crystal Growth 43 (1978) 209.
- [6] Yu.M. Tairov and V.F. Tsvetkov, J. Crystal Growth 52 (1981) 146.
- [7] D.L. Barrett, J.P. McHagh, H.M. Hobgood, R.M. Hopkins, P.G. McMullin, R.C. Clanke and W.J. Choyke, J. Crystal Growth 128 (1993) 358.
- [8] G. Ziegler, P. Lanig, D. Theis and C. Weyrich, IEEE Trans., 30 (1983) p. 327.
- [9] W.F. Knippenberg, Philips Res. Rep., 18 (1963) p. 161.