

6H-SiC bulk 단결정 성장 양상과 micropipe에 관한 연구

강승민, 오근호

한양대학교 무기재료공학과, 서울, 133-791

A study on micropipes and the growth morphology in 6H-SiC bulk crystal

Seung Min Kang and Keun Ho Orr

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

요 약 6H-SiC를 승화법(Sublimation process)으로 성장하였으며, 성장 결정의 표면에서 나타난 양상에 대하여 광학 현미경을 이용하여 관찰하였다. 6H-SiC는 측면방향(hexagonal system에서 a 축 방향)으로 성장하는 속도가 seed 방향인 c 축 방향 보다 빠르고, 따라서 많은 성장 step을 관찰할 수 있었다. 또한, SiC 결정의 주된 결함인 micropipe는 성장 후 결정의 표면까지도 형성되고 있어, 거대한 void로 관찰되어졌다. 이것은 pore와는 다르게 구별되며, 완전한 구형의 단면을 가진다. 본 연구에서는 micropipe 및 면결함, 그리고 결정성장시의 step형성등의 현상에 대하여 광학 현미경으로 조사하여 그 결과를 보고하기로 한다.

Abstract The surface of 6H-SiC bulk crystal grown by sublimation process was investigated by optical microscope observation. Since, in the 6H crystal growing, the crystal had the habitual step growth attitude such that the lateral growth rate along the random a -axis orientation was higher than that along the c -axis of the growth direction, then many steps were developed. There were, also, many micropipes on the surface in the form of as-like large voids. However, they were differentiated with pores and cross-sectional shape of them were close to the circle. In this study, many micropipes, planar defects and the growth steps appeared on the grown crystal surface were investigated.

1. 서 론

최근들어 SiC는 반도체 제조 기술의 발달로 인하여, blue LED를 비롯하여 high-temperature device, high power device 등의 소자 재료로 응용성이 높아지고 있다[1,2]. 그러나, 소자화를 촉진시키려면, 기본적으로 고품질의 wafer가 없이는 불가능하며, SiC가 아닌 다른 재료를 기판으로 사용할 경우에는 lattice mismatch, 열팽창 계수의 차이 등의 제반 물성을 고려하지 않으면 안된다. 특히 chip 소자를 제조할 때, epitaxial layer의 결정학적 구조 및 결함의 유무는 그러한 층을 제조하는 공법에서 오는 원인도 있지만, 우선적으로 substrate에 존재하는 결함에 의한 원인이 매우 크다고 할 수 있다[3,4]. 본 연구에서는 SiC의 결정 및 이로부터 얻어진 wafer에 대한 광학현미경 관찰에 의한 결함들에 대하여 고찰하여 보았다.

2. 실험

2.1. 결정의 육성

Acheson법에 의해 성장시킨 6H-SiC 결정을 seed substrate로 사용하여 승화법[5,6]에 의하여 6H 형의 결정을 성장하였다. 가열장치는 고주파 유도 가열용 발전기(40 kW, 5 kHz)를 사용하였으며, 이를 위해 자체 설계한 graphite 도가니와 thermal shield를 이용하여, 성장온도를 2300~2400℃로 하여 주었다. 이때의 seed substrate의 온도는 2100~2300℃로 하여 도가니내의 온도 구배를 25~35℃/cm로 유지하여 6H-SiC를 얻을 수 있었다. 결정 육성시의 성장 속도는 분위기 gas인 Ar으로 조절하였으며, 100~760

torr까지 변화를 주었다. 성장된 결정은 직경 약 5~25 mm까지 여러 크기였으며, 압력 및 온도의 변화에 지배되는 요소인 성장 속도는 0.3~3 mm/hr의 범위에서 조절하였다. Fig. 1에 성장된 결정들을 보였다.

2.2. 현미경 분석

육성한 결정에 대하여 결정의 표면을 광학현미경으로 관찰하여 micropipes의 양상을 관찰하였으며, 또한 광학현미경의 투과광을 이용하여 wafer의 내부에 형성된 면결함을 관찰하였다. 면결함의 형상은 모두 hexagonal plate형으로 관찰되어 SiC 결정에서의 결정학적인 배열을 반영하고 있음을 알 수 있었다. 성장 결정의 표면 형상에서 관찰된 step growth의 양상은 성장 결정의 성장 과정을 추적하는 근거가 되었다.

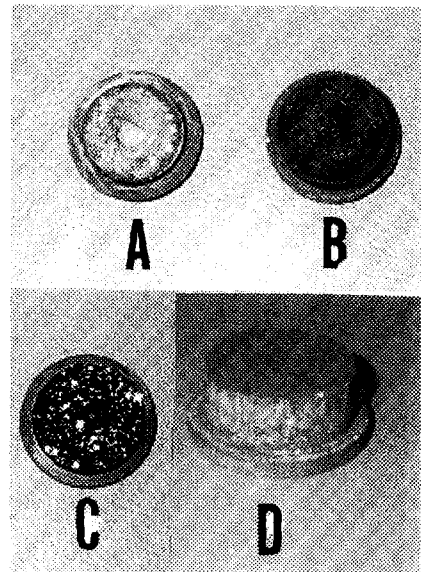


Fig. 1. As-grown 6H-SiC single crystals by sublimation process with the growth rate of A; 0.5 mm/hr, B; 2.8 mm/hr, C; 0.35 mm/hr and D; 1 mm/hr.

3. 결과 및 고찰

3.1. Micropipes

Micropipes는 SiC 결정에서 흔히 발견되는 결함으로, micro-channel이라고도 명명되어진다. 이는 성장 결정의 seed로부터 발생되기도 하고, 성장하고 있는 동안에 발생되기도 하지만, 일단 발생이 되면 제거되기는 곤란하여 결정의 성장 표면까지도 존재하여 마치 pipe 형태로 결정에 존재하게 된다. 이러한 micropipe의 크기는 수 μm 에서 수십 μm 까지 다양하게 나타난다.

SiC 결정의 성장 도가니 내부의 seed와 source의 표면 간의 공간에는 Si, Si₂C, SiC₂ 및 C 등의 기체상들이 확산 또는 대류이동

을 하고 있다. 이들은 결정의 성장에 참여하지만, 이외의 도가니로부터의 금속 이온들 및 source로부터의 불순물들은 Si-C의 결합 및 격자 틈으로 혼입 또는 침입되어 국부적인 격자 전이를 야기시키게 되며, 이로 인해 생성된 격자 결합의 void 및 vacancy는 Si-C의 결합층이 적층되는 중에 계속적으로 존재하게 되어 결국에는 micropipe로 남게 된다고 사료된다. 이에 대하여 Fig. 2 (A)에서 논할 수 있는데, 즉 사진의 우측의 점들이 성장 표면에 흡착되어진 불순물로서, 이들의 불순물은 차차로 Fig. 2 (D)와 같은 거대한 void로 남아있게 된다. 따라서, 불순물에 의해 형성된, 고상과 기상간의 성장 계면의 양상이 rough interface로 되면서 void의 생성을 야기시키는 것이 micropipe의 생성

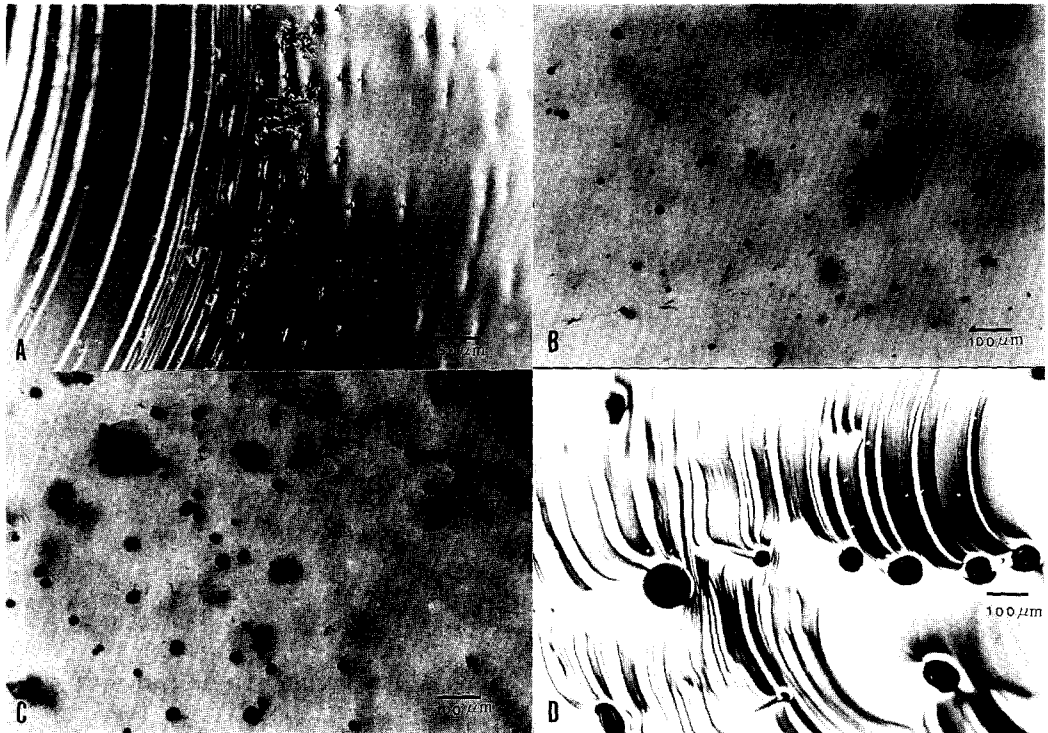


Fig. 2. Typical micropipes. A, D; in the peripheral region of the crystal in Fig. 1 (C), B; in the central region of the wafer from Fig. 1 (D), and C; in the peripheral region of the same as (B).

원인이라고 사료된다. 또한, Fig. 1 (D)의 결정을 slicing 및 polishing하여 제작한 wafer에서 나타난 micropipe의 전형을 Fig. 2 (B)와 (C)에 보였다. (B)는 wafer의 중앙부위, (C)는 성장된 결정의 가장자리를 관찰한 것이다. 본 연구에서 관찰된 micropipe는 대부분 원형에 가까운 단면 형상을 가지고 있었으나, Fig. 2 (B)와 (C)에서 주의깊게 살펴보면, 매우 작은 크기의 micropipe의 경우는 육각형의 형상을 하고 있는 경우도 있다. 즉, SiC matrix의 hexagonal symmetry를 그대로 유지하고 있음을 알 수 있었다. 이로 부터 micropipe는 결국 Si-C 배열의 규칙성을 유지하려고 하는 성장하고 있는 결정의 격자층의 배열을 지켜가면서 형성되는 결함이며, 그 형태는 SiC 결정의 결정학적 형태를 수반하고 있다고 논할 수 있다. 그러나, 크기가 큰 경우(수십 μm 정도)는 모두 원형의 형상을 보였으며, 실제의 크기는 10~20 μm 까지 다양하게 나타났다. Micropipe의 수는 약 1000개/ cm^2 이었다.

3.2. 성장 결정의 내부에 형성된 면결함

면결함(planar defects)은 결정의 내부에서 발생되어 있었다. 이들은 각각 육각형의 다양한 형상을 하고 있었으며, wafer를 자연광에 대해서 일정한 각도로 기울이면, 광이 반사되어 산란된다. 이들 면결함들을 Fig. 3에 나타내었다. 가공된 wafer의 두께는 0.5 mm였으며, 녹색을 띄고 있었는데, SiC 결정에서의 색의 발현은 포함된 불순물이 color center로 작용하고 있기 때문이며, 무색의 투명한 SiC 결정은 주로 질소에 의해서 녹색이 발현된다. Fig. 3 (A)는 중앙부를 관찰한 것이다.

이들 면결함으로 관찰된 육각 판상형은 미

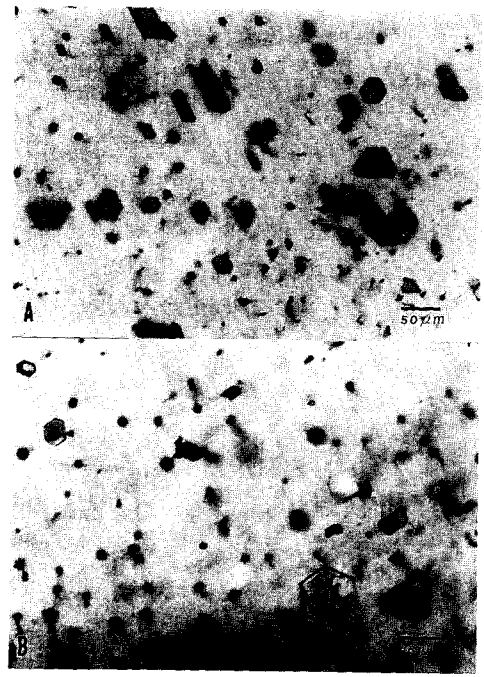


Fig. 3. The planar defects in the wafer made by the crystal in the Fig. 1 (D). A; in the central region and B; in the peripheral region.

세한 micropipe와 관련되어 이를 수반하여 꼭지점으로 하는 육각형의 다양한 형상으로 발생된다. 따라서, 면결함은 포함된 inclusion에 의하여 생성되어져서 근처의 가까이 있는 micropipe와 결정학적인 주기가 일치할 때 또 다른 배열을 하고있다고 사료되며, 이는 2차적인 결정배열을 하고있는 상으로 잔존하게 됨을 알 수 있었다. (B)는 다결정 부분과의 경계부분에서 얻어낸 사진이며, inclusion의 함입 현상이 나타나있다.

3.3. Growth spiral

결정이 성장되는 방향에 따라서 성장 속도가 의존될 때, 결정의 성장 계면은 그 자신

의 결정학적인 대칭성을 반영하게 된다. 따라서, growth spiral의 관찰은 그 결정이 성장속도가 얼마만큼 성장방향에 따르는가를 관찰하는 것과도 같다. 특히, 기상에서부터 성장하는 process와 CVD 및 PVD process에 의한 결정에서는 이러한 점을 반영하는 surface morphology가 많이 나타난다.

Fig. 4 (A)는 I.N. Frantsevich등이 관찰한 6H-SiC 결정의 나선형 성장 morphology를 보인 것이다. 육각형의 변쪽의 성장이 빠르게 되면 원형에 가까운 나선형이 나타나므로, 여기서는 변쪽의 성장 속도가 가장 느리게 성장한 경우이다. (B)는 본 연구에서 관찰된 나선형 성장부분을 보인 것이다. (A)

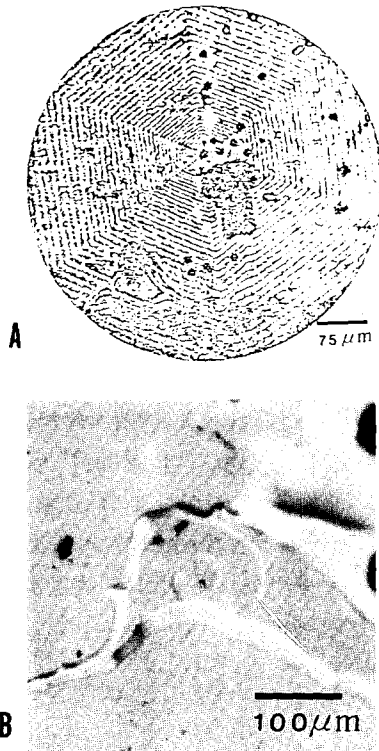


Fig. 4. The growth spirals. A; correct hexagonal symmetry [7] and B; a shape close to round.

와 같은 육각형의 나선형은 아니었다. 나선의 중심은 나선 전위(screw dislocation)의 중심과 일치하며, 이 전위점에서 석출한 불순물을 나타내고 있다.

3.4. Growth step lines

하나의 단결정이 성장되어질 때에는 항상 작은 grain들이 모여져서 합쳐지는 현상이 나타나며, 이곳이 바로 결정의 성장이 시작되는 지점이다. Fig. 5에 성장된 결정에서 나타난 step과 seed로 사용한 Acheson법으로 성장된 결정에서 나타난 step을 보였다. (A)는 Fig. 1 (C)의 결정에서 나타난 것으로 성장 속도 0.35 mm일 때의 형상이다. 변형된 육각형의 step이 관찰되었으며, 결정의 좌측 상부방향으로의 lateral 성장 속도가 반대 방향으로 보다 빠르게 진행됨을 보인다. (B)와 (C)는 결정성장이 시작되는 부분의 양상으로, (B)에서는 다량의 micropipe와의 연결로 인하여 step line이 micropipe부분에서는 더 이상 진행되지 않고 있음을 보여준다. Step line의 간격이 점차로 넓어지는 것은 결정 성장이 외부의 조건에 의해 이루어짐을 나타내며, 따라서 결정의 성장 속도와 관련이 된다. 이러한 step line은 결정의 구조 및 결합방식 등의 내부 인자와 성장 속도 조건 등의 외부 인자의 영향을 직접적으로 받아서 결정의 성장 특성을 그대로 반영하며, 본 연구에서는 결정이 겪는 온도 변화 및 압력의 변화에 의한 성장인자의 국부적인 변화를 알 수 있었다. 즉, Fig. 5 (A), (C)와 같이 step line의 간격이 일정하다가 넓어지는 부분은 성장 압력의 감소 및 온도의 미소량 증가에 의하여 성장이 빠르게 진행되었음을 알 수 있었다.

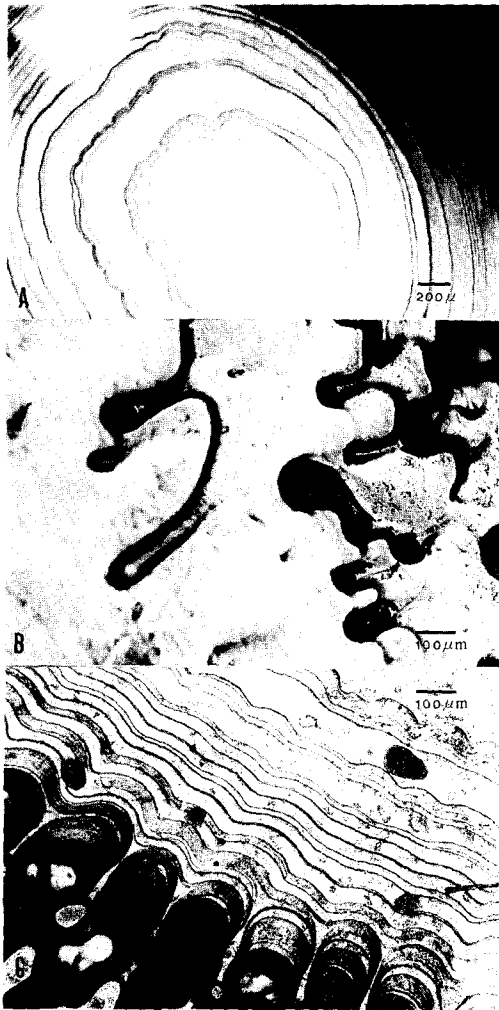


Fig. 5. The observes growth step lines. A; in the as-grown crystal in the Fig. 1 (C). B; The growth step and the micropipe are linked each other. C; Step lines from the Acheson crystal in use of seed.

4. 결 론

6H-SiC 단결정에서의 성장 결정의 표면 양상에 대하여 고찰하여 보았으며, 다음과 같은 논점을 제시할 수 있었다.

1. 성장 결정에서의 micropipe는 그 성인으로 foreign inclusion의 함입, 그리고 나선 전위의 전위점 중심에서의 격자 결함에 의한 것으로 본다.

2. 면결합에서의 주요 생성요인을 탄소 및 그 외의 중금속에 의한 것이라고 사료되며, micropipe와 연관되어 육각형의 형상으로 나타났다.

3. 나선형의 성장 step에서 외부적인 성장 요소의 변화 추이를 알 수 있었다.

4. 따라서, SiC 결정 성장에 있어서 가장 중요한 요소는 불순물(원료, 도가니, 사용하는 gas 등)의 공급원에 대한 purification과 이를 위한 외부적 성장 조건인 온도, 압력, 성장 속도, 온도구배의 정밀한 조절이었다.

참 고 문 헌

- [1] R.N. Bhargava, J. of crystal growth 117 (1992) 894.
- [2] T. Futagi, T. Matsumoto, M. Katsuno, Y. Ohta, H. Mimura and K. Kitamura, Ext. Abs. of Int. conf. on Solid State Dev. and Matls, (1992) p. 375.
- [3] H. Nagasawa and Y. Yamaguchi, J. of Crystal Growth 115 (1991) 612.
- [4] H. Matsunami, S. Nishino, M. Odaka and T. Tanaka, J. of Crystal Growth 31 (1975) 72.
- [5] D.L. Barrett, R.G. Seidensticker, W. Gaida, R.H. Hopkins and W.J. Choyke, J. of Crystal Growth 109 (1991) 17.
- [6] Yu.M. Tairov and V.F. Tsvetkov, J. of Crystal Growth 52 (1981) 146.
- [7] I.N. Frantsevich and V.A. Kravets, Silicon Carbide, (Consultants Bureau, New York, 1970) p. 13.