

## 탄화규소 단결정 성장 시 종자정 도핑농도 영향에 따른 결정 다형변화 연구

박종휘<sup>1</sup>, 양태경<sup>1</sup>, 이상일<sup>1</sup>, 정정영<sup>1</sup>, 박미선<sup>1</sup>, 이원재<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 동의대학교 융합부품공학과

### The Polytype Transformation Research During SiC Crystal Growth by the Effect of Doping Level in Seed

Jong-Hwi Park<sup>1</sup>, Tae-Kyoung Yang<sup>1</sup>, Sang-Il Lee<sup>1</sup>, Jung-Young Jung<sup>1</sup>,  
Mi-Seon Park<sup>1</sup>, and Won-Jae Lee<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Materials and Components Engineering, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea

(Received July 27, 2011; Revised August 31, 2011; Accepted September 2, 2011)

**Abstract:** In this study, SiC single-crystal ingots were prepared on two seed crystals with different doping level by using the physical vapor transport (PVT) technique; then, SiC crystal wafers sliced from the grown SiC ingot were systematically investigated to find the effect of seed doping level on the doping concentration and crystal quality of the SiC. To exclude extra effects induced by adjustment of the process parameters, we simultaneously grew the SiC crystals on two seed crystals with different level, which were fabricated from previous two SiC crystal ingots.

**Keywords:** PVT, Polytype, Transformation, 4H-SiC, 6H-SiC

#### 1. 서 론

탄화규소 (SiC)는 뛰어난 물리적 특성을 가진 재료로 가장 매력적이고 유망한 전력반도체 물질 중 하나이다.

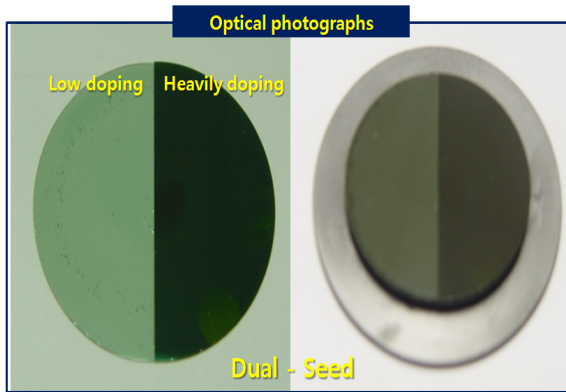
현재 SiC (탄화규소)결정을 성장시키기 위한 가장 많이 사용되는 방법은 물리적 기상 수송법 (physical vapor transport, PVT)이다 [1,2]. 이러한 SiC 단결정을 이용한 SiC기판 반도체 소자를 만들기 위해서 큰 단결정의 결함 밀도를 줄여야 하기 때문에 SiC 단결정 성장 공정의 변화나 새로운 도가니물질을 이용하는 등의 단결정 품질을 향상시키기 위한 많은 연구가 진행되고 있다 [3,4]. SiC 전자 소자의 경우 필요에 따

라 불순물의 혼입의 조절이 요구된다. SiC 웨이퍼가 도핑 레벨에 따라 반절연 SiC기판의 경우 GaN HEMT (high electron mobility transistor) 소자의 기판으로 사용이 되고, n-type, p-type 도핑이 된 경우 내열 반도체 소자 등, 다양한 응용 분야에 사용될 수 있기 때문에, SiC 결정 성장의 제어 도핑 수준은 매우 중요한 요소이다. 또한 도핑에 의하여 단결정이 성장하는 동안 결정다형 변화가 일어날 수 있다. 이러한 이유로 본 연구에서는 PVT법으로 SiC 단결정 성장 시 도핑농도에 따른 다형 변화의 효과를 조사하였다.

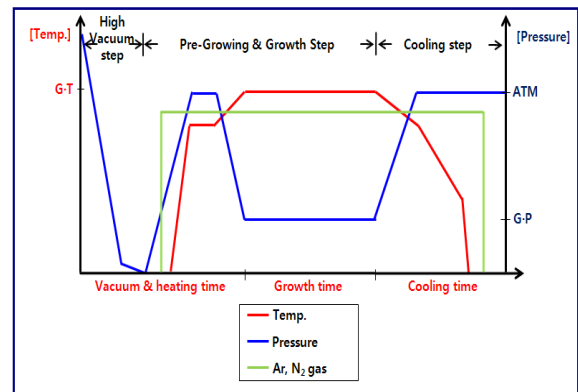
#### 2. 실험 방법

단결정 성장을 시켜 만든 각기 다른 도핑농도를 가지는

a. Corresponding author; leewj@deu.ac.kr



**Fig. 1.** Photographs and the schematic diagram of the SiC seeding structure with two different doped SiC wafers used in this study.



**Fig. 3.** The process condition for SiC single crystal growth.



**Fig. 2.** A vertical furnace for the silicon carbide growth.

2개의 6H-SiC 잉곳을 멀티와이어 쏘우 장비 (Takatori Corp. MWS-610SD)로 잘라 SiC 2인치 웨이퍼를 만든 후 1/10  $\mu\text{m}$  다이아몬드 슬러리를 이용하여 표면 가공을 하였다. 그리고 2개 웨이퍼를 반으로 자른 후, 서로 다른 도핑 농도를 가지는 2개의 n-type 웨이퍼를 PVT방법 성장 시 사용되는 도가니의 뚜껑부위에 접착제를 이용하여 C-면(000-1)으로 성장이 될 수 있도록 그림 1과 같이 부착을 시켰다.

부착시킨 도가니 뚜껑을 도가니에 체결하여 도가니를 그림2에 보이는 SiC 단결정 수직 성장로에 넣어 성장을 시켰다.

SiC 단결정 성장은 성장온도 2,150°C, Ar 분위기에 압력은 25 mbar의 조건을 유지시키며 그림 3과 같은 공정으로 성장을 시켰다. 이때 성장 동안 세로축 온도 구배는 15~20°C/cm이며, SiC 종자정과 소스물질인

SiC 파우더의 경우 99.9%의 고순도를 사용하였다. 도가니는 그래파이트 소재를 사용하였고 도가니 주위에 그래파이트 단열재를 사용하였다. 이렇게 성장시킨 잉곳을 다시 웨이퍼 형태로 가공하여, 광학 현미경으로 관찰을 하고 x-ray 회절 장비 (PANalytical-MRD)를 이용하여 상 분석을 실시하였다. 그리고 도핑의 정도를 알아보기 위하여 흡수, 투과도 (UV-visible spectroscopy) 및 홀효과 (Hall measurement)측정을 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

성장된 잉곳을 잘라 만든 웨이퍼들을 차례로 관찰하여 본 결과 6H-SiC 종자정에서 초기 성장 시에 여러 가지 색이 관찰되는데, n-type 도핑농도가 서로 다른 종자정에서 색 변화의 차이점을 관찰할 수가 있다.

그림 4에서 보면 결정의 초기 성장 시 결정다형들이 많이 나타나는데 낮은 도핑 농도를 가진 종자정보다 높은 도핑 농도를 가진 종자정에서 결정다형이 비교적 빠르게 많은 면적에서 나타나는 것을 볼 수 있다. 이후 성장이 되면서 낮은 도핑농도를 가진 종자정에서 성장한 영역은 6H-SiC가 안정화가 되고, 높은 도핑농도를 가지는 종자정에서 성장한 영역은 4H-SiC가 비교적 안정화가 되는 것을 볼 수 있다.

이러한 색의 변화를 보아 처음 종자정과 다른 결정다형이 발생된 것을 눈으로 뚜렷이 볼 수 있으며 좀 정확한 분석을 위해 x-ray 회절을 하여본 결과, 다음 (그림 5)과 같이 색에 따른 다형을 관찰할 수 있었다.

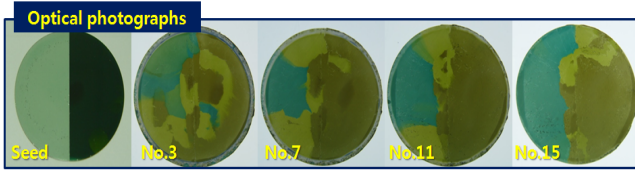


Fig. 4. The optical photographs of 2" wafers made from an ingot grown on a SiC dual-seed.

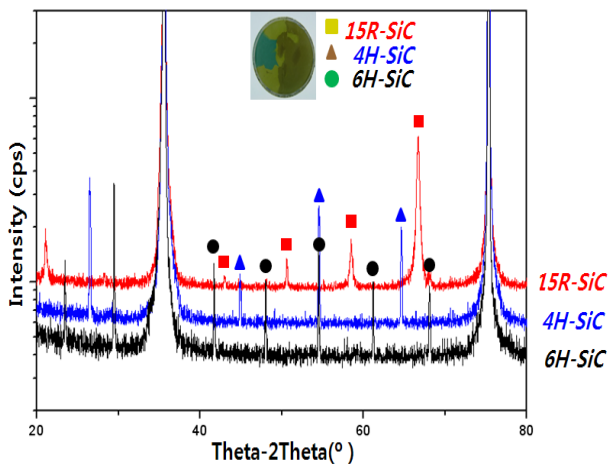


Fig. 5. X-ray diffraction patterns of SiC wafers sliced from different positions of the SiC single-crystal ingot.

초록색의 부분이 두 개의 주피크 사이에 보조피크 5개를 가지는 6H-SiC이고, 노란색의 경우 15R-SiC로 두 개의 주피크 사이에 4개의 보조피크를 가지며, 갈색의 4H-SiC 경우 두 개의 주피크 사이에 3개의 보조피크를 가진다. 이것은 여러 다형을 가지는 SiC에서 적층 주기에 따라 보조피크의 개수가 다르게 나타나는 것을 특징으로 다형을 알 수 있다 [5]. 그림 4를 보면 초록색인 6H-SiC에서 노란색인 15R-SiC를 거쳐 갈색인 4H-SiC가 되는 것을 볼 수 있는데, 높은 도핑 농도를 가진 종자정에서 변화가 빨리 시작되고 이후에 4H-SiC가 되는 것을 볼 수 있다. 이것은 SiC 다형들 중에 4H-SiC의 경우 질소 도핑정도가  $10^{19} \text{ cm}^{-3}$  정도가 되면 다형변화 없이 4H-SiC가 안정화가 된다고 보고된 바가 있는데 [6], 이러한 이유로 높은 도핑 농도를 가진 종자정에서 낮은 도핑 농도를 가진 종자정에 비해 4H-SiC가 빠르게 변화되고 안정화 되는 것으로 보여진다.

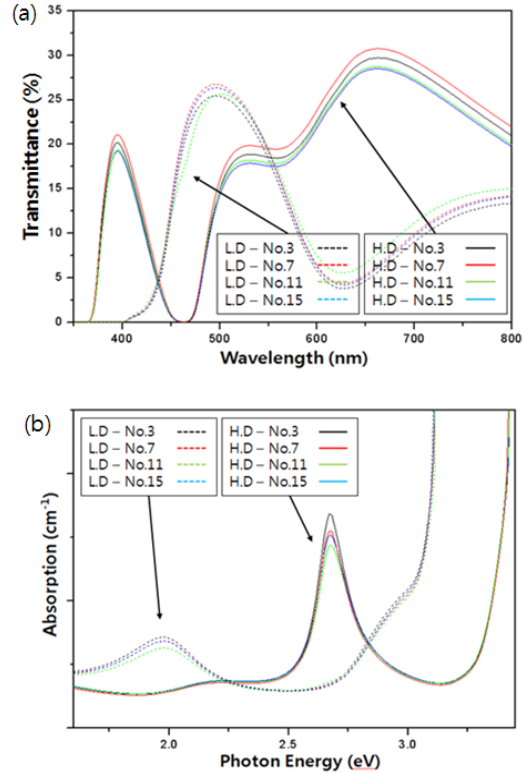


Fig. 6. Transmittance and absorption spectra of SiC wafers sliced from different positions of the SiC single-crystal ingot.

그림 6에서 보이는 흡수, 투과도의 경우 낮은 도핑 농도를 가지는 종자정에서 성장된 웨이퍼들을 측정할 결과 6H-SiC의 밴드갭 에너지와 비슷한 3.04 eV에서 흡수 에너지를 나타내고 높은 도핑농도의 종자정에서 성장된 웨이퍼들에서는 4H-SiC와 비슷한 3.26 eV에서 흡수 에너지를 나타냈다. 그리고 각각의 다른 도핑농도의 종자정에서 질소의 흡수준위는 2.0 eV/623 nm와 2.67 eV/464 nm로 나타났다. 이것에서 볼 수 있듯이 낮은 도핑 농도의 종자정에선 많은 부분에서 6H-SiC로 성장이 되었으며, 높은 도핑농도 종자정에서는 4H-SiC가 성장된 것을 알 수 있다.

표 1은 홀효과 측정을 한 데이터이다. 홀효과 측정 데이터를 보면 높은 도핑농도를 가진 웨이퍼들이 비교적 낮은 도핑농도를 가진 종자정에서 성장한 웨이퍼들에 비해 캐리어농도가 높은 것을 볼 수 있다. 이것은 다른 연구 논문에서도 보이는 결과와 같이 4H-SiC에서

**Table 1.** Electrical characteristics on both faces of a SiC crystal with growth time.

6H-Seed	Carrier Concentration/[cm <sup>3</sup> ]	Mobility [cm <sup>2</sup> /V·s]	Resistivity [Ω·cm]
L.D - Seed	-1.349×10 <sup>17</sup>	33.853	0.045
L.D - No. 3	-2.296×10 <sup>17</sup>	69.767	0.057
L.D - No. 7	-3.018×10 <sup>17</sup>	85.210	0.052
L.D - No. 11	-5.822×10 <sup>17</sup>	104.769	0.051
L.D - No. 15	-6.037×10 <sup>17</sup>	102.849	0.063
H.D-Seed	-4.005×10 <sup>18</sup>	72.221	0.024
H.D - No. 3	-1.482×10 <sup>18</sup>	158.485	0.064
H.D - No. 7	-1.811×10 <sup>18</sup>	74.629	0.061
H.D - No. 11	-2.717×10 <sup>18</sup>	77.876	0.058
H.D - No. 15	-2.329×10 <sup>18</sup>	83.239	0.058

6H-SiC 보다 캐리어 도핑이 더 많이 된다는 것을 보여준다 [7]. 높은 도핑농도의 종자정과 낮은 도핑농도의 종자정에서 성장한 웨이퍼들의 평균 도핑정도는  $2.0 \times 10^{18}/\text{cm}^3$  와  $4.2 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ 이다. 캐리어 농도는 잉곳이 성장한 방향, 즉 잉곳의 표면으로 갈수록 농도가 증가하는 것을 볼 수 있는데 이것은 단결정 성장하는 동안 충분한 양의 질소가 계속해서 공급되는 것에 비해 성장 시 소스물질은 점차 고갈되고 소스물질의 감소로 성장률이 성장 후반으로 갈수록 떨어져 질소가 도핑될 수 있는 확률이 많아져 질소의 농도가 점차 증가되어 도핑이 증가되는 것으로 생각된다.

#### 4. 결론

6H-SiC를 반으로 잘라서 만든 다른 도핑농도 종자정 두 개를 부착을 하여 PVT법으로 단결정을 성장시켜 종자정의 도핑농도에 따른 결정다형 변화 속도와 결정다형의 형성을 알아보았다.

결정다형변화의 속도의 경우 높은 도핑농도를 가지는 종자정에서 낮은 도핑농도를 가지는 종자정 보다 빠른 변화속도를 보였다. 또한 잉곳이 성장하여 표면으로 갈수록 캐리어 농도가 증가하는 것을 볼 수 있었고, 다른 도핑 농도를 가지는 종자정에서 성장된 잉곳의 웨이퍼들은 서로 다른 캐리어 농도를 나타내었다. 이러한 결과로 보아 결정다형변화 속도는 종자정의 도핑농도에 의존하며, 종자정의 도핑농도에 의해 성장된 잉곳의 도핑 및 결정다형변화에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

#### 감사의 글

본 논문은 2011년도 동의대학교 교내연구비 (2011AA190)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

#### REFERENCES

- [1] Y. M. Tairov and V. F. Tsvetkov, *J. Cryst. Growth*, **52**, 146 (1981).
- [2] Y. M. Tairov and V. F. Tsvetkov, *J. Cryst. Growth*, **43**, 209 (1978).
- [3] Y. Kitou, W. Bahng, T. Kato, S. Nishizawa, and K. Arai, *Mater. Sci. Forum*, **389**, 83 (2002).
- [4] V. Ramachandran, M. F. Brady, A. R. Smith, and R. M. Feenstra, *J. Electron. Mat.*, **27**, 308 (1998).
- [5] S. Nishino, Y. Kojima, and J. Saraie, *Springer Proceedings in Physics* **56** (Springer, Berlin, 1992) p. 15.
- [6] H. J. Rost, J. Doerschel, K. Irmscher, M. RoXberg, D. Schulz, and D. Siche, *J. Cryst. Growth*, **275**, 451 (2005).
- [7] M. Naitoh, K. Hara, F. Hirose, and S. Onda, *J. Cryst. Growth*, **237**, 1192 (2002).