

## M/NEMS용 *in-situ* 도핑된 다결정 3C-SiC 박막 성장

김강산, 정귀상\*

울산대학교 전기전자정보시스템공학부

### Epitaxial growth of *in-situ* doped polycrystalline 3C-SiC for M/NEMS application

Kang-San Kim, Gwi-Yang Chung\*

School of Electrical Eng., University of Ulsan

**Abstract** : Polycrystalline(poly) 3C-SiC film is a promising structural material for M/NEMS used in harsh environments, bio and fields. In order to realize poly 3C-SiC based M/NEMS devices, the electrical properties of poly 3C-SiC film have to be optimized. The n-type poly 3C-SiC thin film is deposited by APCVD using HMDS( $\text{Si}_2(\text{CH}_3)_6$ ) as single precursor and are *in-situ* doped using  $\text{N}_2$ . Resistivity values as low as  $0.014 \Omega \cdot \text{cm}$  were achieved. The carrier concentration increased with doping from  $3.0819 \times 10^{17}$  to  $2.2994 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$  and electronic mobility increased from 2.433 to  $29.299 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$ .

**Key Words** : M/NEMS, *in-situ* doping 3C-SiC

#### 1. 서 론

최근 급속히 발전하고 있는 Si-M/EMS(Micro/nano electro-mechanical system)는 Si의 1.1 eV의 낮은 밴드갭으로 인해 100°C 전후 그리고 SOS(Silicon on Silicon)와 SOI(Silicon on Insulator) 구조의 경우는 300°C까지 사용이 가능하지만, 집적화된 M/NEMS의 높은 발열문제를 극복하기에는 그 한계가 있다. 이러한 Si-M(N)EMS의 문제점을 극복할 수 있는 대안으로 우수한 물리적, 전기적, 기계적, 화학적, 광학적 특성뿐만 아니라 Si 미세표면가공기술을 이용할 수 있는 SiC-M/NEMS에 대한 관심이 증대되고 있다. SiC는 Si에 비해 밴드갭이 2~3배 이상 높고 열전도도가 3배가량 뛰어나 높은 한계 온도를 가지며 화학적 안정성과 내부식성, 내산화성이 매우 양호하기 때문에 극한 환경에서도 사용이 가능하다. 또한, 3C-SiC는 벌크형태로 성장되는 4H- 혹은 6H-SiC와는 달리, Si기판 혹은 절연막 위에 이종결정성장할 수 있다. 이러한 이종결정성장의 구조는 박막의 두께 제어가 쉽고 기판의 식각을 통한 3C-SiC 미세구조를 제작이 용이하며 박막의 뛰어난 기계적 특성으로 인해 Micro/Nano 캔틸레버 및 공진기 등의 바이오 및 RF용 M/EMS 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나, SiC-M/NEMS에 응용할 때 감도, 분해능, 응답속도 등은 감지 물질의 전기적 특성에 매우 크게 영향을 받기 때문에 유전상수, 비저항, 주파수특성, 전자이동도, 캐리어 농도 그리고 TCR(Temperature coefficient resistivity) 등과 같은 재료의 전기적, 열적 특성 분석이 필수적이다.

따라서, 본 연구에서는 *in-situ* 도핑에 따라 다결정 3C-SiC 박막을 성장하여 XRD, FT-IR로 각각의 물리적 특성을 평가했으며 또한, 전기적 특성인 전자 이동도와 캐리어 농도를 분석했다.

#### 2. 실험

본 연구에서는 산화막이 증착된 Si(100)기판 위에 다결정 3C-SiC를 성장했으며 고순도 아르곤을 캐리어가스로 사용하여 성장온도까지 가열후 HMDS 전구체를 주입하였다. 전구체 주입 전후에 온도의 안정과 잔여 전구체의 배기를 위해 각각 3분의 holding 시간을 두었다. 전구체의 반응성을 높이기 위해 고순도의  $\text{H}_2$ 를 주입했으며 가스의 유량은 각각 Ar: 5 slm,  $\text{H}_2$ : 1 slm, HMDS: 1 sccm이었다. 1200°C에서 30분 동안 성장했으며 다결정 3C-SiC 박막의 도핑량 제어를 위한  $\text{N}_2$ 의 주입유량은 0 ~ 100 sccm 범위에서 제어했다.

#### 3. 결과 및 검토

그림 1은 Ar+HMDS+ $\text{H}_2$ + $\text{N}_2$  가스를 이용하여 0 ~ 100 sccm *in-situ* 도핑량에 따라 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 XRD 스펙트럼 변화를 나타낸 것이다.  $2\theta=36.5^\circ$ 에서 SiC(111)면의 피크가 관찰되어 다결정 3C-SiC 박막이 정상적으로 성장됨을 확인했다. 그러나,  $\text{N}_2$  유량이 증가할수록 SiC(111)의 피크는 감소하는데 이것은 도핑농도가 100 sccm일 때 정상적인 SiC 격자구조를 형성하지 못함을 알 수 있다. 이러한 원인은 N 원자의 영향으로 인한 스트레인의 증가로 추측된다. 도핑량의 증가에 따른 스트레인의 변화는  $-2 \times 10^{-4} \sim -5 \times 10^{-4} \text{ um}^{-1}$ 로 증가하는 것으로 보고되었다.

그림 2는 *in-situ* 도핑량에 따라 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 비저항 변화를 나타낸 것으로  $\text{N}_2$ 의 주입량이 0 sccm일 경우, 비저항이 약  $8.35 \Omega \cdot \text{cm}$ 였지만  $\text{N}_2$ 의 주입량이 증가할수록 비저항은 100 sccm에서 약  $0.014 \Omega \cdot \text{cm}$ 로까지 감소하였다. 한편, LPCVD로 1,3- disilabutane 전구체와  $\text{NH}_3$  *in-situ* 도핑으로 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 경우, 비저항값은 1000 ~  $0.05 \Omega \cdot \text{cm}$ 까지 제어가 가능했다 [6].

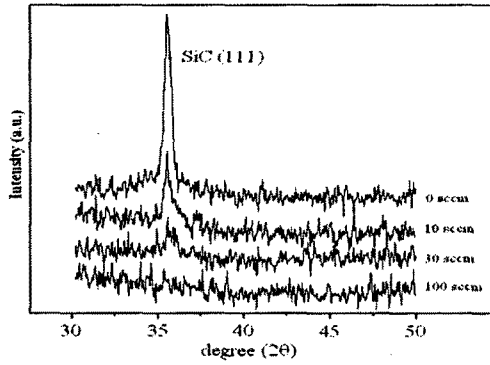


그림 1. N<sub>2</sub> in-situ 도핑량에 따라 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 XRD 스펙트라.

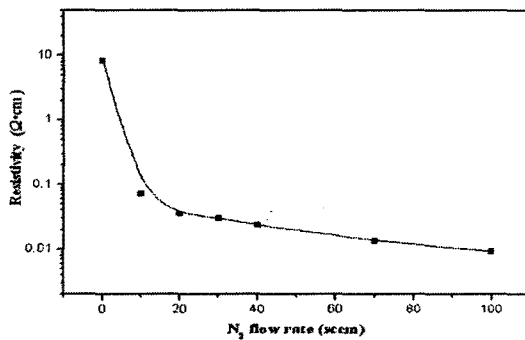


그림 2. N<sub>2</sub> in-situ 도핑량에 따라 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 비저항 변화.

그림 3은 in-situ 도핑량에 따라 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 캐리어의 농도변화와 전자이동도변화를 나타낸 것이다. N<sub>2</sub>의 주입량이 증가할수록 캐리어 농도와 전자이동도가 증가함을 알 수 있다. 다결정 3C-SiC 박막의 캐리어 농도는 30 sccm에서 포화되기 시작했으며 40 ~ 80 sccm에서는 큰 증가를 보이지 않았다. 또한, 100 sccm에서는  $2.2994 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 였다. 다결정 3C-SiC 박막의 전자이동도는 N<sub>2</sub>의 유량 0 sccm에서  $2.433 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ 로 측정되었으며 N<sub>2</sub> 유량의 증가에 따라 전자이동도 또한 증가했다. 그러나, 캐리어농도의 변화와 마찬가지로 20 ~ 30 sccm 범위에서 포화되어 큰 증가는 보이지 않았으며 100 sccm에서의 전자이동도는 약  $29 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{S}$ 였다.

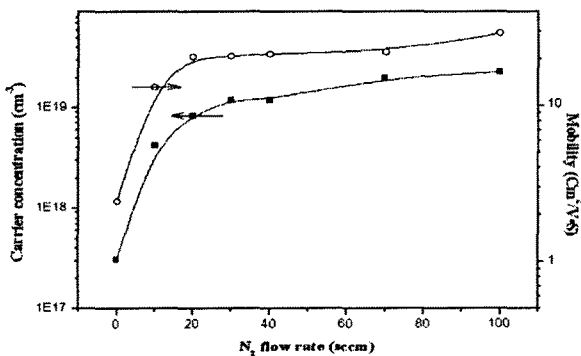


그림 3. N<sub>2</sub> in-situ 도핑량에 따라 성장된 다결정 3C-SiC 박막의 캐리어농도와 전자이동도 변화.

#### 4. 결론

본 연구에서는 M/NEMS용으로 in-situ 도핑된 다결정 3C-SiC 박막의 물리적, 전기적 특성을 평가했다. XRD와 통해 SiC의 결정성장을 확인했으며 도핑물질의 주입이 결정성에 주는 영향을 분석했다.

N<sub>2</sub> in-situ 도핑량에 따른 XRD의 피크이동은 다결정 3C-SiC 박막형성 과정에서 질소원자가 탄소원자로 치환되어 SiC 격자상수를 감소시키는 현상이며 이것은 기계적 성질인 탄성계수와 경도에도 영향을 줄 것으로 사료된다.

또한, 전기적 특성분석을 위해 N<sub>2</sub> in-situ 주입유량을 0 sccm ~ 100 sccm으로 제어했으며 도핑에 따라 박막의 비저항은  $8.35 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ 에서  $0.014 \text{ }\Omega\cdot\text{cm}$ 까지 감소했다. 이때 캐리어 농도는  $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 에서 N<sub>2</sub>의 유량에 따라 증가하였다. 그러나, N<sub>2</sub> in-situ 도핑량이 40 sccm일 때, 캐리어 농도는 약  $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 에서 포화되었으며 100 sccm까지 큰 증가를 보이지 않았다.

이러한 N<sub>2</sub> in-situ 도핑에 따른 다결정 3C-SiC 박막의 전기적 특성의 제어는 SiC 박막을 기반으로 하는 SiC-M/NEMS의 감도, 분해능, 응답속도 등의 제어를 가능케 할 뿐 아니라 마이크로공진기의 공진주파수 제어도 가능할 것으로 기대된다. 또한, SiC 박막은 인체에 직접적인 삽입에도 부작용이 없으며 Si에 비해 높은 기계적 특성 및 화학적 내성으로 인해 극한 환경, 바이오 및 RF용 M/NEMS 분야에 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역 혁신인력양성사업 및 지식경제부·울산광역시 지원 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터의 지원에 의한 것입니다.

#### 참고 문헌

- [1] G. S. Chung and K. S. Kim, *J. of the Korean Phys. Soc.* Vol. 51, p. 1389, 2007.
- [2] P. M. Sarro, *Sensors & Actuators A.* Vol. 82, p. 210, 2000.
- [3] Y. T. Yang, K. L. Ekinici, X. M. H. Huang, L. M. Schiavone, M. L. Roukes, and M. Mehregany, *Appl. Phys. Lett.* Vol. 78, p. 165, 2001.
- [4] Mo Li, H. X. Tang, and M. L. Roukes, *Nature Nanotech.* Vol. 2, p. 114, 2007.
- [5] Z. Jingchun, C. Carraro, R. T. Howe, and R. Maboudiana, *Surface & Coatings Tech.* Vol. 201, p. 8893, 2007.
- [6] Z. Jingchun, R. T. Howe, and R. Maboudian, *J. of the Electrochem. Soc.* Vol. 153, p. G548, 2006.