

도핑 농도에 따른 다결정 3C-SiC 박막의 기계적 특성

이윤명, 정귀상*

울산대학교 전기전자정보시스템공학부

Mechanical properties of polycrystalline 3C-SiC thin films with various doping concentrations

Yun-Myung Lee, Gwi-Sang Chung*

School of Electrical Engineering, University of Ulsan

Abstract : This paper describes the mechanical properties of poly(polycrystalline) 3C-SiC thin film with various doping concentration, in which poly 3C-SiC thin film's mechanical properties according to the n-doping concentration 1%($9.2 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$), 3%($5.2 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$), and 5%($6.8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$) respectively was measured by nano indentation. In the case of $9.2 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ n-doping concentration, Young's Modulus and hardness were obtained as 270 GPa and 30 GPa, respectively. When the surface roughness according to n-doping concentrations was investigated by AFM(atomic force microscope), the roughness of poly 3C-SiC thin film doped by 5% concentration was 15 nm, which is also the best of them.

Key Words : 3C-SiC, Young's modulus, Hardness, Nano Indentation

1. 서 론

SiC는 Si에 비해 밴드갭이 2~3배이상 높고 열전도도가 3배가량 뛰어나 높은 한계 온도를 가지며 높은 화학적 안정성과 내부식성, 내산화성으로 인해 극한 환경용 M/NEMS(micro/nano electro mechanical system)에 응용하기 위한 연구가 진행되고 있다. 특히, 3C-SiC는 bulk형태로 성장되는 4H, 6H-SiC와 달리 Si에 박막형태로 이중결정성장되어 미세가공기술을 적용시키기가 용이하고 미세구조물 형성이 쉬우며, SiO₂ 혹은 AlN 등의 기판에 성장가능하여 그 응용분야가 매우 넓다. SiC 박막을 M/NEMS에 응용하기 위해서는 유전상수, 비저항, 주파수특성, 전자이동도, TCR (temperature coefficient resistivity) 등과 같은 재료의 전기적, 열적 특성뿐만 아니라 경도, 탄성계수, 강도, 인성, 피로특성, 잔류응력 등과 같은 기계적 특성이 함께 분석되어야 한다. 특히, M/NEMS의 경우, 반복된 동작을 오랜 기간 동안 수행해야 하기 때문에 기계적 특성이 높아야하며 전기적 특성 제어를 위해 도핑에 따른 박막의 기계적 특성 변화 분석 또한 중요하다. 박막의 기계적 특성을 측정하는 방법에는 압입 깊이와 하중과의 관계를 이용하여 박막의 탄성계수와 경도를 동시에 측정할 수 있고, 마이크로미터 단위 크기 시편에 대한 시험이 가능하며 결과 해석이 직접적인 나노 압입법을 사용하였다.

따라서, 본 연구에서는 n-도핑에 따라 다결정 3C-SiC 박막의 XRD로 물리적 특성을 분석했으며 또한, 나노 압입법으로 기계적 특성인 탄성계수와 경도를 측정했다.

2. 실 험

본 연구에서는 3단계의 과정을 통해 다결정 3C-SiC

박막을 Si(100)기판에 성장했다; (a) 3분 동안 800°C에서 HCl+H₂에 의해 표면세척 후, (b) 5분 동안 1000°C 에서 C₃H₈+H₂를 이용하여 탄화공정을 수행했다. (c) 1,3-DSB (1,3-disilabutane)+H₂를 이용하여 800°C에서 30분 동안 다결정 3C-SiC 박막을 성장했으며, n-도핑을 위해 NH₃를 각각 1, 3, 5% 각각 첨가했다[5].

3. 결과 및 고찰

그림 1은 Si 기판위에 1,3-DSB+H₂+NH₃ 혼합가스를 이용하여 1, 3, 5%로 도핑된 3C-SiC 박막의 XRD 스펙트럼이다 [11]. 도핑농도가 증가할수록 SiC(111)피크의 위치는 2θ가 증가방향으로 이동하며 피크의 크기가 감소했다. 따라서, n-도핑농도의 증가에 따라 다결정 3C-SiC 박막의 격자구조가 영향을 받으며 특히, n-도핑농도가 5%일 때는 정상적인 SiC 격자구조를 형성하지 못함을 알 수 있다.

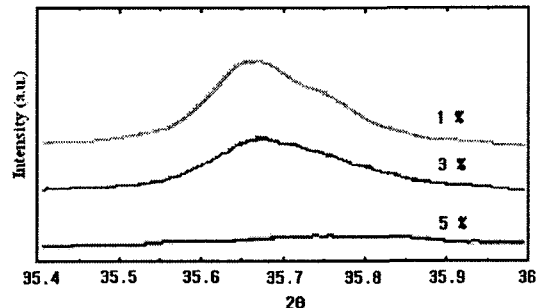


그림 1. 다결정 3C-SiC 박막의 NH₃ 도핑에 따른 XRD 스펙트럼.

나노 압입실험을 위해 사용된 역학 모델은 Oliver와 Pharr의 모델이며 무부하시의 하중과 변위 관계를 다음과 같다. 식 (1)에서 P는 부하하중을 나타내며 B, m은 각각 실험에 의해 결정된다.

$$P = B(h - h_f)^m \quad (1)$$

여기서, h_f 는 하중 제거시 잔류변위를 나타낸다. 식 (1)을 압입 깊이에 따라 미분하면, 다음과 같이 주어진다.

$$S = \frac{dp}{dh} \Big|_{h-h_{\max}} = Bm(h_{\max} - h_f)^{m-1} \quad (2)$$

여기서, S 는 강성값을 나타낸다. 유효 탄성계수 E_r 을 포함한 식으로 강성값을 나타내면 다음과 같다.

$$S = \frac{dp}{dh} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sqrt{A} E_r \quad (3)$$

여기서, A 는 압입자의 접촉면적을 나타낸다. 식 (2)와 (3)에서 유효 탄성계수 E_r 은 다음과 같이 주어진다.

$$E_r = \frac{(1-\nu^2)}{E} + \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i} \quad (4)$$

또한, 시험편과 압입자의 조합에서 유효 탄성계수 E_r 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{E_r} = \frac{(1-\nu^2)}{E} + \frac{(1-\nu_i^2)}{E_i} \quad (5)$$

여기서, E 와 ν 는 각각 박막의 탄성계수와 포아송비이며, E_i 와 ν_i 는 각각 나노 압입자의 탄성계수와 포아송비이다. 따라서, 식 (4)와 (5)에서 탄성계수 E 를 구할 수 있다.

한편 경도 H 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H = \frac{P}{A} \quad (6)$$

여기서, P 는 압입 하중을 나타내고, A 는 접촉 투영면적을 나타낸다.

그림 2는 n -도핑 농도에 따른 다결정 3C-SiC 박막의 탄성계수의 변화를 보여준다. N -도핑농도가 1, 3, 5%일 때, 기계적 강도에 영향을 미치는 탄성계수는 270, 249, 236 GPa로 측정되었다.

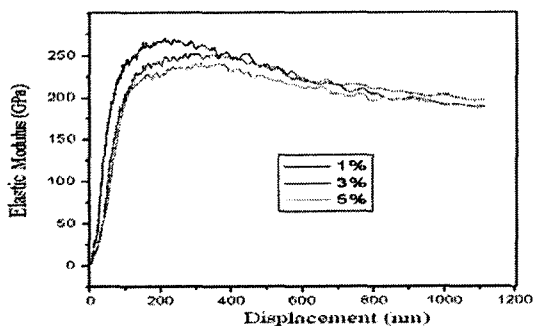


그림 2. N -도핑농도에 의한 다결정 3C-SiC 박막의 탄성계수.

그림 3은 n -도핑농도에 따른 다결정 3C-SiC 박막의 경도 값의 변화를 나타낸 것이다. N -도핑농도가 1, 3, 5%일 때,

경도 값은 각각 30, 26, 25 GPa이었다. N -도핑농도가 증가할수록 탄성계수의 변화와 유사하게 경도 또한 감소함을 알 수 있다.

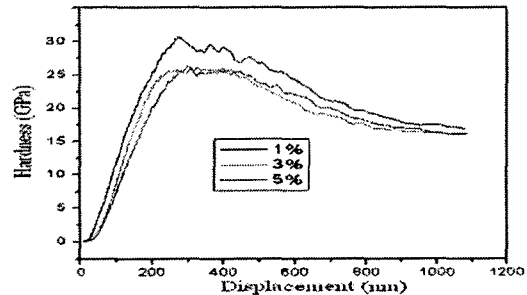


그림 3. N 의 도핑농도에 따른 다결정 3C-SiC 박막의 경도변화.

4. 결 론

본 연구에서는 n -도핑농도에 따른 다결정 3C-SiC 박막의 결정성과 계면 그리고 표면 거칠기를 각각 XRD로 분석했으며 나노 압입법을 이용하여 도핑에 따른 박막의 탄성계수와 경도를 측정했다.

N -도핑농도가 감소할수록 다결정 3C-SiC 박막의 기계적 특성에 영향을 미치는 탄성계수와 경도 그리고 박막 표면 그레인의 크기의 증가를 확인했으며 표면 거칠기는 도핑농도가 증가할수록 감소했다. 이는 XRD 분석에서 알 수 있듯이 SiC 박막 형성 과정에서 질소원자가 탄소원자로 치환되어 그레인의 성장과 SiC 격자상수를 감소시키는 현상이며 이것은 기계적 성질인 탄성계수와 경도에도 영향을 주는 것을 확인하였다.

따라서, 박막 성장시 n -도핑을 통해 전기적 특성뿐만 아니라 기계적 특성 그리고 표면 거칠기를 제어함으로써 극한환경, RF 그리고 바이오용 SiC-M/NEMS 분야에 유용하게 사용 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업 및 2006년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구결과임 (KRF-2006-D00177).

참고문헌

- [1] J. A. Powell and L. G. Matus, Germany, Vol. 43, p. 2, 1989.
- [2] Z. Qin, P. Han, and Y. D. Zheng, Thin Solid Films, Vol. 515, p. 580, 2006.
- [3] J. A. Powell, P. G. Neudeck, L. G. Matus, and J. B. Petit, in Mmat. Soc.symp. Proc. Vol. 242, p. 495, 1992.
- [4] J. Koskinen, J. Micromech. Microeng. Vol. 3, p. 13, 1993.
- [5] J. Zhang, R. T. Howe, and R. Maboudian, J. of the Electrochemical Soc. Vol. 153, p. 548, 2006.