

ICP 방법으로 증착한 SiC 박막의 성장 및 특성 고찰

김동진, 길태현, 황성수, 김용상
 명지대학교 공과대학 전기공학과

Characteristics of SiC thin films
 deposited by ICP-CVD

D.J.Kim, T.H.Kil, S.S.Hwang, Y.S.Kim
 Dept. of Electrical Engineering, Myongji University

Abstract - SiC thin film have been prepared by ICP-CVD for low temperature deposition and large area deposition. The structural properties of deposited SiC films are characterized by employing SEM, FT-IR, XRD, XPS and Raman Spectroscopy. From the experimetal results, good crystallinity has been achieved in 1000°C grown SiC film which have carbonization step at 1100°C for substrate bias of 30V.

1. 서 론

SiC는 high temperature, high power, high radiation field 등에 요구되는 능동 소자에 적합한 반도체 재료로서의 특성을 가지고 있으며 많은 연구가 집중되고 있다. 실리콘을 이용한 소자는 주로 band gap(1.12eV)에 의한 제한 때문에 동작온도가 200 °C 이하로 제한되지만 SiC를 이용하면 고온환경 하에서도 동작 가능한 소자를 실현 할 수 있다. 또한 SiC는 전자의 포화 drift 속도가 2×10^7 cm/s로 크고, 절연과괴 전계가 5×10^6 V/cm로 높기 때문에 전력용 재료로서 매우 유망하다¹⁾. SiC 고내압 Schottky diode가 내압이 1000V 이상까지 얻어지고 있으며 고속(~10ns) 스위칭 속도를 나타내고 있다. 또한, 고내압 pn접합 diode에서는 상온에서 내압 1000V가 얻어지고 있고 600°C에서도 뛰어난 정류성을 나타낸다는 보고가 나오고 있어서 미래의 전력용 소자로서 실리콘 PIN diode를 대체할 것으로 예상되고 있으며²⁾ 이외에도 전력용 MOSFETs, Gate Turn-Off Thyristors(GTO) 등도 제작되고 있다.

이러한 SiC의 우수한 특성에도 불구하고 SiC를 이용한 전력 소자의 개발은 SiC의 구조적 특성, 화학적 특성상 고품질의 성장막 형성이 어려움으로 인하여 많은 문제점을 가지고 있다³⁾. 최근에 SiC 단결정 성장 기술이 커다란 진보를 이룩하여 여러 가지 소자의 연구 및 개발이 추진되고 있으나 SiC 박막의 증착온도가 1300°C 정도로 매우 높으며 SiC의 결정성은 아직 고성능의 소자 제작에 응용할 수 있는 단계에까지 이르지 못하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 ICP-CVD 증착법을 이용하여 단결정 3C-SiC 박막을 증착함으로써 SiC 박막 증착의 저온화와 실리콘 기판을 이용한 대면적화를 실시하고자 한다. 또한 최적의 SiC 박막 증착 조건으로 저온공정을

이용하여 전력용 반도체의 재료로써 응용을 위한 가능성을 제시하였다.

2. 본 론

2.1 ICP-CVD 실험장비 및 실험

본 연구에서 수행한 SiC 단결정의 결정 성장 실험 장비인 ICP (Inductively Coupled Plasma)- CVD의 시스템 개략도는 그림 1과 같다. 기존의 SiC 증착 방법에 비해 RF source의 가격이 월등히 저렴하지만 high density plasma의 생성 및 유지가 가능하며, 장비의 구조와 조작이 간단하고, plasma source와 기판 bias를 독립적으로 control이 가능한 장점을 가지고 있다. 박막의 증착을 위한 기판으로는 P-타입 (111) 실리콘 웨이퍼를 사용하였으며 기판의 저항은 10~20 ohm·cm 이었다. 실리콘 기판 세정 과정은 습식 세정과 건식 세정으로 나누어 실시하였다. 습식세정을 수행하고 기판 온도를 500°C까지 올려준 후 H₂ 가스를 200 sccm 흘려주며 RF Power 250 W의 조건으로 10분간 건식 세정을 실시하였다. 이후 carbonization은 CH₄, H₂ 가스를 이용하여 1~10분간, 온도는 900~1100°C, H₂ 유량은 100~200 sccm, H₂의 부분압은 260~304 mTorr, CH₄의 유량은 10~30 sccm으로 변화하며 실험하였다. SiC 박막 증착 실험은 여러 가지 변수를 지정해 주었다. 가스의 종류는 SiH₄, CH₄, H₂를 사용하였고, H₂의 유량은 100~200 sccm, SiH₄과 CH₄의 유량은 10~30 sccm으로 변화하였다. 기판 bias는 30V를 인가하였으며 박막의 증착온도는 900~1100°C 영역에서 10분~1시간동안 증착을 수행하였다.

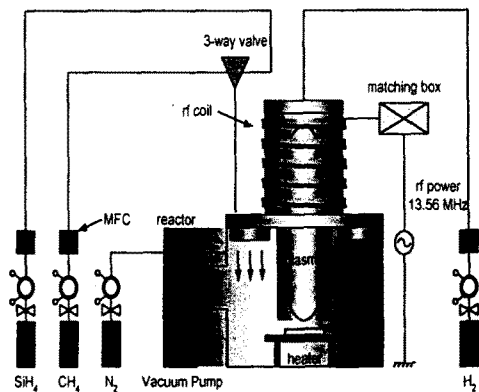


그림 1. 제작된 ICP-CVD 시스템 개략도.

2.2. Carbonization

실리콘과 SiC 박막은 20%의 격자 부적합을 나타내는데, carbonization을 수행하면 실리콘과의 격자 부적합을 줄여줄 수 있고, 이후의 계속적인 SiC 박막 성장시 결합 감소와 향상된 결정성의 박막을 얻을 수 있다⁴⁾. 따라서 우수한 박막을 얻기 위해서는 최적의 carbonization 실험 조건을 확립하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 carbonization만을 실시한 박막을 XPS 분석을 통하여 비교하였다. SiC 박막분석에서 중요한 고찰 요소는 증착된 SiC의 화학적 결합 상태이며, 증착된 SiC의 XPS 분석 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림 2의 (a)는 1100°C의 온도에서 기판에 30V의 bias를 인가한 경우이며 (b)는 1100°C의 온도에서 기판에 전압을 인가하지 않고 carbonization을 수행하였다. 또한 (c)는 1000°C의 온도에서 30V의 기판 bias를 인가하고 carbonization을 수행한 박막의 XPS 결과이다. 본 실험에서 사용한 C_{1s}의 분석 peak에서 C-O 결합 에너지는 284.8 eV이고, C-C 결합 에너지는 285 eV, Si-C 결합 에너지는 280 eV 부근이다. 따라서 그림 2에서 알 수 있듯이 모든 경우에 SiC 박막이 대부분 Si-C 결합을 이루고 있으며 특히, 1100°C의 온도에서 기판에 30V의 bias를 인가한 경우에 가장 높은 intensity를 얻을 수 있었다. 이는 기판 온도가 높을수록, 양의 기판 bias 인가에 의해 우수한 SiC 박막이 증착됨을 의미한다. 이 결과로부터 본 연구에서는 carbonization을 1100°C의 온도와 30 V의 substrate bias 상태를 최적의 조건으로 이용하였다.

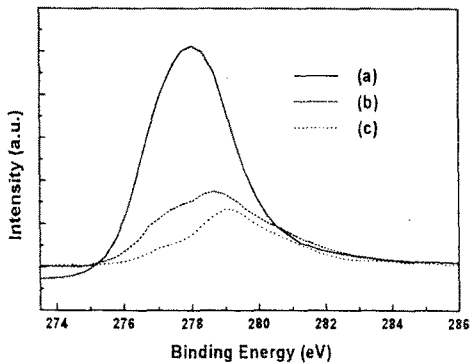


그림2. Carbonization을 수행한 박막의 XPS. (a)1100°C, 30V, (b)1100°C, 0V, (c)1000°C, 30V

2.3. SiC 박막의 특성 분석

다양한 Carbonization 및 증착조건에 따른 SiC 박막의 결정성 및 방향성을 조사하기 위하여 XRD를 측정하여 그림 3에 나타냈다. 이중결합 3C-SiC 박막은 실리콘 기판의 방향성을 따라서 성장하는 특성을 가지고 있으며, XRD의 3C-SiC 박막의 (111) peak은 35.6°에서 나타난다. 본 연구에서는 실리콘 (111) 기판을 사용하였으며, 증착한 3C-SiC도 (111)의 방향성을 나타냄을 그림 3에서 확인하였다. 또한 X선 회절 분석에서 알 수 있듯이 1100°C에서 carbonization을 수행하고, 1000°C에서 성장을 한 SiC 박막이 우수한 3C-SiC (111) 결정성을 나타냄을 알 수 있으며 증착

온도의 변화에 따라서는 일정한 경향성을 나타내지 않으나 carbonization 온도가 1100°C인 경우에 뚜렷한 방향성을 가짐을 확인하였다. 따라서 증착 온도보다는 carbonization 공정 조건의 확립이 특성이 향상된 SiC 박막을 성장하기 위한 선행 조건임을 알 수 있다.

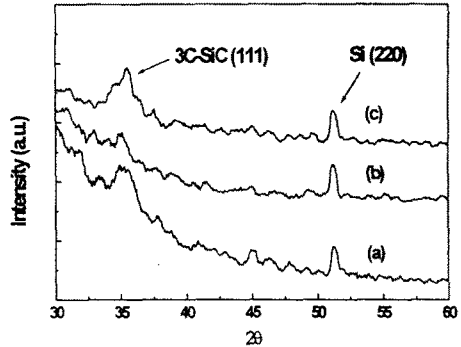


그림 3. 증착된 SiC 박막의 X선 회절 분석. (a) carbonization 1000°C, growth 950°C, (b) carbonization 1000°C, growth 1100°C, (c) carbonization 1100°C, growth 1000°C

실리콘과 carbon의 bonding을 확인하기 위하여 FT-IR의 스펙트럼을 분석하여 그림 4에 나타냈다. 각 물질간의 bonding에 따라 IR wave number (cm⁻¹) peak의 위치가 결정되며 Si-C vibration band는 760~820(cm⁻¹)에서 관찰된다. 그림 4에서 알 수 있듯이 Si-C bonding에 의한 absorption peak이 관찰되었으며 각각의 증착 조건에 따라서 Si-C bonding의 intensity가 달라진다. FT-IR의 흡수 스펙트럼의 결과에서도 알 수 있듯이 박막의 특성에 중요한 영향을 주는 요인은 carbonization이며 carbonization을 1100°C에서 3분간 실시하고, 1000°C에서 박막 성장을 실시한 실험에서 Si-C의 tight-bonding이 존재하며 실리콘과 탄소의 결합 특성이 매우 우수함을 확인하였다.

또한, 증착된 SiC 박막의 SEM image를 관찰하여 그림 5에 제시하였다. 그림 5의 SiC 박막은 carbonization을 300W의 RF power, 30 sccm의 CH₄를 주입하면서 3분간 실시하였다. 그리고 기판온도를 1000°C까지 낮추어 준 후 SiH₄와 CH₄를 각각 20 sccm, H₂를 200 sccm 주입하고, 300W의 RF power를 가한 상태에서 20분간 증착하였다. 그림 5의 SEM 사진을 통해 실리콘 기판 위에 SiC 박막이 증착됨을 확인할 수 있었으며 이때 증착된 SiC 박막의 두께는 1000Å이며 이로부터 산출된 증착율은 약 50Å/min이다.

그림 5에서 제시한 SiC 박막에 대한 Raman spectroscopy를 측정하여 그림 6에 도시하였다. 795(cm⁻¹)에서 관측되는 Raman peak은 SiC 박막의 Transverse-opticlike phonon mode를 나타내고, 972(cm⁻¹)에서 관측되는 Raman peak은 SiC 박막의 Longitudinal-opticlike phonon mode를 나타낸다. SiC 박막의 TO-mode 및 LO-mode의 peak이 뚜렷하게 관찰되고 있으며 이로부터 본 실험에서 제작된 박막이 단결정 SiC 박막이라는 것을 보여주고 있다.

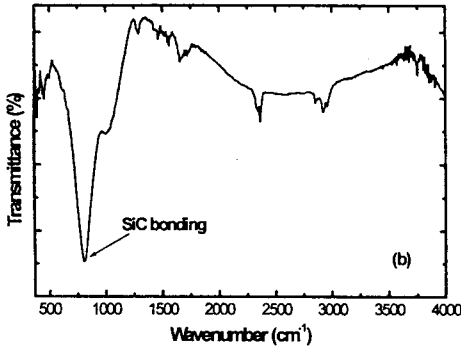
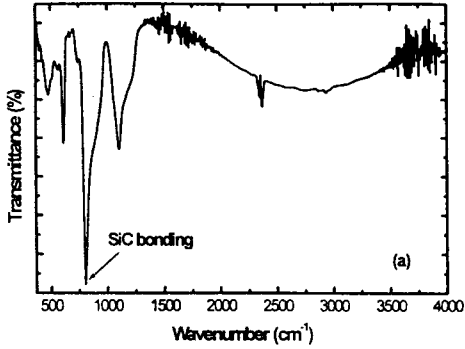


그림 4. SiC 박막의 FT-IR peak.

- (a) carbonization: 1000°C, growth: 1100°C
 (b) carbonization: 1100°C, growth: 1000°C

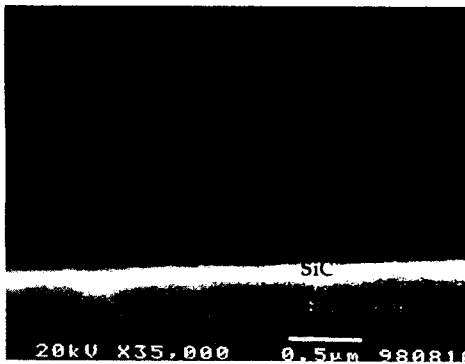


그림 5. SiC 박막의 SEM 사진

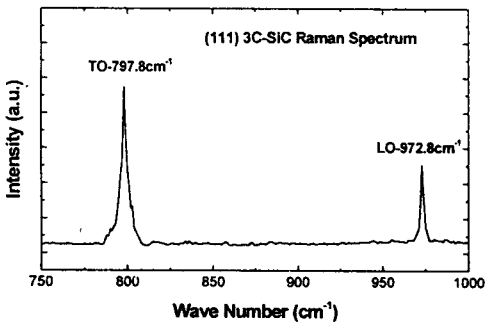


그림 6. 증착된 SiC 박막의 Raman peak.

3. 결 론

단결정 3C-SiC (111) 박막을 실리콘 기판 위에 ICP-CVD 방법을 이용하여 증착하였고 이 박막을 SEM, FT-IR, XRD, Raman, XPS를 이용하여 구조적, 물성적으로 분석하였다. Carbonization 시 bias의 유·무, carbonization 온도, 증착온도, 증착시간, 증착시의 SiH₄, CH₄와 H₂의 유량에 따른 단결정 SiC 박막의 최적 증착조건을 고찰하였다.

물성적으로 우수한 SiC 박막을 제작하기 위해서는 최적의 carbonization 실험 조건을 확립하는 것이 매우 중요하며 XPS의 C_{1s} 분석 peak를 통해 증착된 SiC 박막이 Si-C 결합을 이루고 있음을 확인하였다. Carbonization 온도가 높을수록, 양의 기판 bias를 가한 경우 우수한 결정성을 가지고 있었다. 본 실험결과에 의한 최적의 carbonization 조건은 1100°C의 온도와 30 V의 substrate bias로 나타났다. XRD 분석을 통하여 제작된 SiC 박막이 (111)의 방향성을 가지고 있으며 특히 1100°C에서 carbonization을 수행하고, 1000°C에서 성장을 한 SiC 박막이 우수한 SiC (111) 결정성을 나타냄을 확인하였다. 또한 FT-IR을 이용하여 제작된 박막이 Si-C bonding을 형성하고 있음을 확인할 수 있으며 carbonization은 1100°C에서 3분간 실시하고, 1000°C에서 박막 성장을 실시한 실험에서 최적조건을 확인할 수 있었다. SEM 사진을 통해 증착된 SiC 박막을 확인하였고 증착율은 약 50 Å/min으로 나타났다. Raman spectroscopy의 결과로부터 증착된 박막이 단결정 SiC 박막이라는 것을 보여주고 있다. 본 연구에서의 실험 결과 탄소화 온도 1100°C와 증착온도 1000°C에서 우수한 3C-SiC 박막이 성장됨을 확인하였다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초 전력공학공동연구소 주관으로 수행된 과제(과제 번호 97-25)에 의하여 연구되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Charles E. Weitzel, John W. Palmour, Calvin H Carter, Karen Moore, "Silicon carbide high power devices," IEEE Trans. ED., 43, pp. 1732-1741, 1996.Oct.
- [2] J.B. Casady, R.W.Johnson, "Status of silicon carbide as a wide-bandgap semiconductor for high-temperature applications," Solid State Electronics, 39, 10, pp.1409-1423, 1996.
- [3] S. Nishino, J. A. Powell and H. A. Will, "Production of large-area single-crystal wafers of cubic SiC for semiconductor devices," Appl.Phys.Lett., 42, 460, 1983.
- [4] C. C. Chiu, S. B. Desu, "Conversion of single crystal Si (100) to SiC film by C₂H₂," J. Mater. Res., 8, 535, 1993.