

Hot-wall CVD에서의 SiC 단결정 박막의 초기 성장 거동

방 옥, 정희중*, 강인호, 김상철, 한현숙*, 김남균
한국전기연구원, *동의대학교, *경남대학교

Initial growth behavior of SiC homoepitaxy in hot-wall CVD

Wook Bahng, Hui Jong Cheong*, In Ho Kang, Sang Cheol Kim, *Hyeon Sook Han, Nam-Kyun Kim
KERI, *Dongueui Univ., *Kyungnam Univ.

Abstract : Initial growth stage was investigated for SiC homoepitaxial film growth using 'step controlled epitaxy' technique. When the off angel direction is located parallel along to the gas flow direction, the smoother surface can be obtained. On the on axis substrates, selective etching was detected both the etching and growth condition. It was deduced that the high ratio of C/Si in the source gas results in well developed steps and etched spiral around micropipes.

Key Words : SiC, Epitaxy, Hot wall CVD, Etching, off-angle, step, gas flow

1. 서 론

탄화규소(SiC)는 결정학적으로 가장 많은 동질이상(polymorph)을 갖는 물질로서 큰 관심을 끌여왔다. 동질이상이란 갖은 화학구조식을 가지면서도 다른 결정형태를 갖는 것으로서 대부분의 화합물 반도체에서 발견된다. 특히 SiC의 경우 한쪽 방향으로의 적층위치가 달라져 생기는 결정다형(polytype)이 현재까지 알려진 것만으로도 200여가지에 이르러 현존하는 물질중 가장 많은 물질이다[1]. 이러한 다수의 결정다형의 존재는 결정학적으로는 다양한 물성의 변화로 인해 좋은 연구대상이지만, 반도체 공정의 측면에서는 결정다형의 제어가 힘들어 큰 단점으로 작용되어 왔다. SiC의 많은 결정다형 중에서 전력용 반도체 재료로서 가능성이 가장 크고 현재 많은 연구가 되고 있는 것으로서 4H-SiC와 6H-SiC가 대표적이다. 1980년대까지는 기판재료로서의 이들 결정을 성장시키는 데에는 성공하였으나, 결정다형이 잘 제어된 단결정 박막의 성장에 큰 애로가 있었다. 1995년 Kimoto등[2]에 의해 표면이 특정방향(주로 <11-20>방향)으로 off된 기판을 사용한 'step controlled epitaxy'법이 제안됨으로 인해 이들 결정다형의 제어 문제가 해결되고 4H-SiC 및 6H-SiC의 경우에는 농도가 잘 제어된 단결정 박막의 성장기술이 발전하여 1200V/20A급의 전력용 정류소자의 상용화에 이르게 되었다[3,4].

탄화규소에의 단결정 박막성장은 고온에서의 CVD법이 이용되고 있으며, 대부분 H₂-SiH₄-CH₄의 가스들을 원료로 사용하고 있다. 기존의 Si 및 화합물 반도체 단결정 박막성장 조건에 비해 월등히 높은 온도에서 성장이 이루어지므로 성장초기에 일어나는 수소가스에 의한 기판의 식각 영향등을 잘 제어해야만 양질의 SiC 단결정 박막을 성장시킬 수 있다.

본 연구에서는 기판의 off-angle 및 가스 flow와의 방향등을 변화시키며, 초기 식각 및 성장시에 일어나는 현상을

step의 형성양상과 기판 결함의 출현현상을 관찰하여 비교하였다.

2. 실험

기판은 Cree사로부터 구입한 3.5° off axis의 6H-SiC 기판과 4H-SiC on axis기판을 이용하였다. on-axis기판의 경우 가공과정에서 ±0.5° 이내의 off angle을 가진다. SiC 단결정 박막 증착 및 식각은 새로 제작된 수직형 hot-wall CVD장치에서 행하였다. 상온에서부터 실험온도까지 8분간 승온 하였으며, 이때 수소가스의 유량은 5slm, 압력은 600Torr로 유지하였다. 이후 증착은 2분간 SiH₄와 C₃H₈가스를 주입하면서 실시하였고, 식각 실험은 동일시간 동안 원료가스의 주입 없이 수소만을 주입하여 실시하였다. 이때 C/Si원료비는 2.0으로 고정하였다. 증착 및 식각 후 표면 거칠기 및 형상 관찰은 Normarski 광학 현미경을 주로 이용하였으며, FE-SEM(Hitachi,) 및 AFM(PSIA, XE-100)을 병용하여 관찰하였다. 기판 내에 존재하는 결함과의 상관관계를 관찰하고자 투과 편광현미경을 사용하여 비파괴기법으로 micropipe를 관찰하여 표면형상과 비교하였다.

3. 결과 및 검토

우선 off angle기판의 경우 off angle이 주어진 방향 즉, step의 형성방향과 성장로 내의 가스흐름 방향과의 영향을 관찰하기 위해 각각이 수평방향과 수직 방향으로 배열되도록 하여 초기 식각 및 성장과정을 비교하였다. 그림 1에 나타난 바와 같이 가스흐름 방향에 대해 수직인 것과 수평인 것 모두 off-angle에 수직인 방향으로 step이 형성된 것을 확인할 수 있다. 하지만 각각의 step은 가스 흐름 방향에 대해 off-angle이 수직인 경우가 더 잘 발달되어 있고 수평인 경우에는 더 발달하여 좀 더 매끈한 표면을 갖는 것을 알 수 있었다. 이는 초기 승온 과정에서의 수소에 의한 식각작용에 있어서는 큰 차이를 보이지 않으나,

박막성장 초기에 가스흐름에 대해 수직방향으로 정렬된 step들에서 보다 빠른 성장 거동을 보임으로 인해 매끈한 표면을 나타내는 것으로 고려된다.

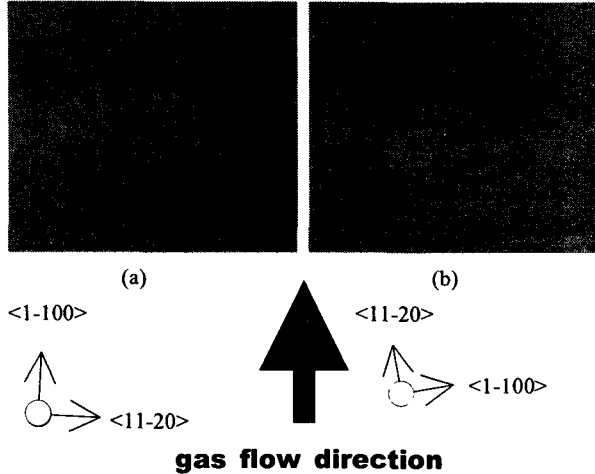


그림 1. off-angle과 gas flow 방향에 따른 박막표면 형상 변화. scale bar = 40um. Step이 가스흐름 방향과 수평으로 존재할 때 아주 잘 발달된 형상을 나타내고 있다.

그림 2는 on-axis기판위에서의 초기 단결정 박막성장을 관찰한 것으로서 micropipe이 위치한 영역에서 원추형의 형상을 볼 수 있다. 주위의 불규칙한 step들은 on-axis기판의 경우에도 0.5°이내에서 off angle을 갖기 때문에 승온 과정에서의 수소에 의한 식각과 초기 박막성장과정에서 형성된 것으로 보여진다. 이러한 원추형의 표면 형상이 초기 승온 과정에서의 수소가스에 의한 식각에 의한 것인지를 알아보기 위해 원료가스를 주입하지 않고 2분간 유지한 기판에 대해 분석하였다.

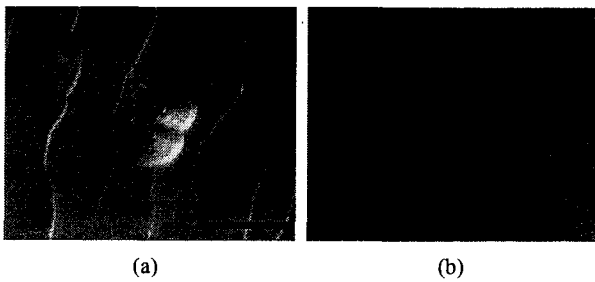


그림 2. 박막성장 초기 결함 주위 형상 (micropipe의 영향). a) 반사현미경 영상 b) 편광투과현미경 영상. 편광투과현미경 영상으로부터 micropipe 특유의 왜곡에 의한 영상을 확인할 수 있다. scale bar = 50um

그림 3에 단결정 박막을 성장시키지 않고 고온에서 2분간 식각과정만 거친 기판을 관찰한 결과를 나타내었다. 그림 2의 표면형상과는 달리 결함(micropipe)주위가 우선적으로 식각되어 표면에 큰 구멍을 형성하고 있는 것을 보여주고 있다. 수소에 의한 식각만 일어나는 조건에서는 오히려 결함 주위의 식각이 덜 일어난 것으로 보아, 그림 2의 동

근 식각 형상은 초기 성장시에도 발달한 것으로 보여진다.

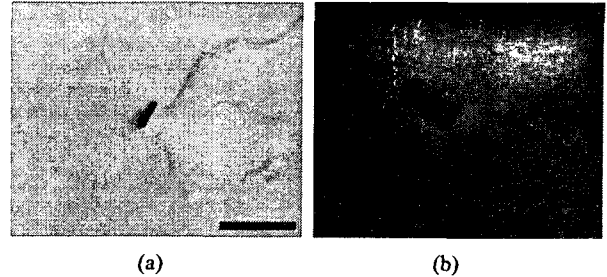


그림 3. 초기 식각조건에서의 결함 주위 형상 (micropipe의 영향) a) 반사현미경 영상, b) 편광투과현미경 영상. scale bar = 20um

이러한 현상은 본 연구에서 사용한 원료가스의 유량비 (C/Si)가 2.0인 것에 기인하는 것으로 보여진다. 최근에 들어 탄소 과잉의 원료가스 조건에서는 micropipe가 잘 발달하고 표면도 거친면을 가지며, Si이 과잉인 조건에서 micropipe의 filling이 관찰되고 매끈한 표면을 갖는 것으로 보고되고 있다[3-5]. 따라서 박막성장 초기에 탄소과잉의 원료가스 조건에서는 여러 가지 결함의 발달을 초래하는 것으로 판단된다.

4. 결론

Hot-wall CVD를 이용한 SiC 단결정 박막 성장 초기에 일어나는 현상을 고찰해 본 결과, off-angle에 의해 형성되는 step의 방향과 가스흐름의 방향이 수직인 경우가 보다 매끈한 표면을 갖는 박막성장에 적합한 것으로 나타났다. on-axis기판을 사용한 경우에는 초기 식각 조건과 증착조건에 따라 micropipe등의 결함들이 우선적으로 식각될 뿐만 아니라 박막성장도 우선적으로 일어남을 확인하였다. 이는 결함이 나타내는 stress등의 불안정성이 우선적으로 식각이나 증착이 일어나도록 한 것으로 고려되며, 박막성장 초기 조건을 최적화함으로써 micropipe 제거등 저결함화의 조건을 찾을 수 있을 것으로 판단되었다.

참고 문헌

- [1] A. R. Verma and P. Krishina, 'Polymorphism and polytypism in crystals', Chap. 5, (John Wiley & Sons, 1966)
- [2] T. Kimoto, A. Itoh, and H. Matsunami, Appl. Phys. Lett. 66, p. 3645, 1995.
- [3] I. Kamata, H. Tsuchida, T. Jikimoto, K. Izumi, Jpn. J. Appl. Phys. 39, p. 6496, 2000.
- [4] S. Nishizawa and Michel Pons, Mater. Sci. Forum 483-485, p. 53, 2005
- [5] G. Wagner, D. Schulz and J. Doerschel, Mater. Sci. Forum 483-485, p. 109, 2005