

Si(001) 기판위에 Solid Source Si MBE 로 성장된 SiGe 박막의 결정성 상전이현상에 관한 연구

이승창, 윤선진, 이정용*

(한국전자통신연구소 반도체연구단, *한국과학기술원)

Si 은 전형적인 III-V 족 화합물과는 달리 단결정 뿐만 아니라 다결정 Si (Poly-Si) 이나 비정질 Si (a-Si) 도 반도체 소자에 응용할 수 있는 소재로 잘 알려져 있다. 이와 같은 이유에서 최근들어 관심을 끌고 있는 SiGe 합금물질 역시 HBT 나 IR detector 등에 사용되는 단결정 뿐만 아니라 다결정 SiGe 도 기존 MOSFET 의 문턱전압을 낮추거나 조절할 수 있다는 기능때문에, 비정질 SiGe 의 경우에는 TFT에 사용되고 있는 Poly-Si을 대체하여 열공정 온도를 낮추거나 Solid phase regrowth 로 Grain size 를 조절하여 전자이동도 등을 증가시킬 수 있다는 가능성때문에 새로운 관심을 끌고 있다. 이와 같은 다결정 혹은 비정질 SiGe 은 성장법에 관계없이 SiO₂ 박막위에서 성장온도와 같은 성장변수를 적절하게 조절하여 성장할 수 있다. 그러나 단결정 Si 기판위에 Si 박막을 증착시킬 경우라 하더라도 성장온도에 따라 박막두께가 일정두께 (제한두께, Limiting thickness)를 초과할 경우 단결정에서 다결정 혹은 비정질 Si 으로 상전이 현상을 일으키는 것으로 알려져 왔다. 이와 같은 제한두께의 존재는 SiGe 합금 증착에도 적용되는 현상으로, 격자부정합에 따른 임계두께와 함께 SiGe/Si heteroepitaxy 의 또 다른 제한적 요소로 작용할 수 있다. 본 논문에서는 Solid source Si MBE 를 이용하여 Si 기판위에 SiGe 박막을 증착시키는 Heteroepitaxy 에서 야기되는 결정성의 상전이 현상을 관찰하고 앞서 언급한 Si homoepitaxy 와의 차이점을 비교 분석한다.

실험에 사용된 SiGe 박막은 RIBER SIVA45 Solid source Si MBE 로 성장하였다. 성장속도는 1 Å/sec 로 하였고 SiGe 박막을 성장하기 전에 560 °C 에서 2000 Å 의 Si buffer 층을 성장하였다. SiGe 박막의 Ge mole 분율 x 는 $0 < x < 0.7$ 범위내에서 조절하였으며 주로 $x = 0.21$ 에서 상전이 현상을 관찰하였다. 상전이 현상에 가장 큰 영향을 미치는 성장온도 T_s 의 조절 범위는 150 ~ 350 °C 로 하였다. 본 논문의 성장온도를 전형적인 MBE 의 경우에 비하여 낮은 범위로 정한 이유중의 하나는 낮은 성장온도에서 비교적 얇은 박막으로 상전이 현상을 용이하게 관찰할 수 있기 때문이다.

그림 1 은 Ge mole 분율 0.21 인 SiGe 박막의 단면으로 성장온도를 150 °C 에서 350 °C 까지 50 °C 간격으로 변화시키면서 성장한 한 후 TEM 으로 관찰한 것이다. 각 시료의 단면에는 SiGe 박막과 Si buffer 층간의 계면이 표시되어 있으며 이들 계면의 윗부분이 SiGe 박막이다. 이들 SiGe 박막내에는 SiGe/Si 계면과 평행하게 검은 띠가 형성되어 있는데 이들 검은 띠 부분이 단결정-다결정, 혹은 단결정-비정질 상전이가 일어나는 영역에 해당된다. 성장온도가 증가함에 따라 이들 상전이 지역의 띠폭이 증가하고 있으며 SiGe/Si 계면으로 부터의 거리 또한 증가하고 있다. 상전이 지역-SiGe/Si 계면간의 거리는 앞서 언급한 SiGe 의 제한두께에 해당하는 것으로, 이와 같은 변화는 성장온도 T_s 의 증가에 따른 제한두께의 증가를 의미한다. 실제로 Si_{0.79}Ge_{0.21} 의 제한두께는 성장온도에 대하여 지수함수의 $-E_a/k_B T_s$ 의 의존도를 가지며 상전이에 필요한 Energy E_a 는 대략 0.42 ± 0.02 eV 정도의 값을 갖는다. 이 값은 Si 의 경우

와 유사하나 Ge mole 분율이 증가하면 E_c 값도 증가하게 된다. 이밖에도 성장온도가 300 °C 를 넘어섬에 따라 결정성 상전이 이후의 SiGe 박막 결정성이 비정질에서 다결정상으로 변화한다. 본 논문에서는 SiGe 합금의 성장온도 및 Ge mole 분율 변화에 따른 결정성 상전이 메커니즘을 고찰하고 Si 의 경우와 비교 분석한다.

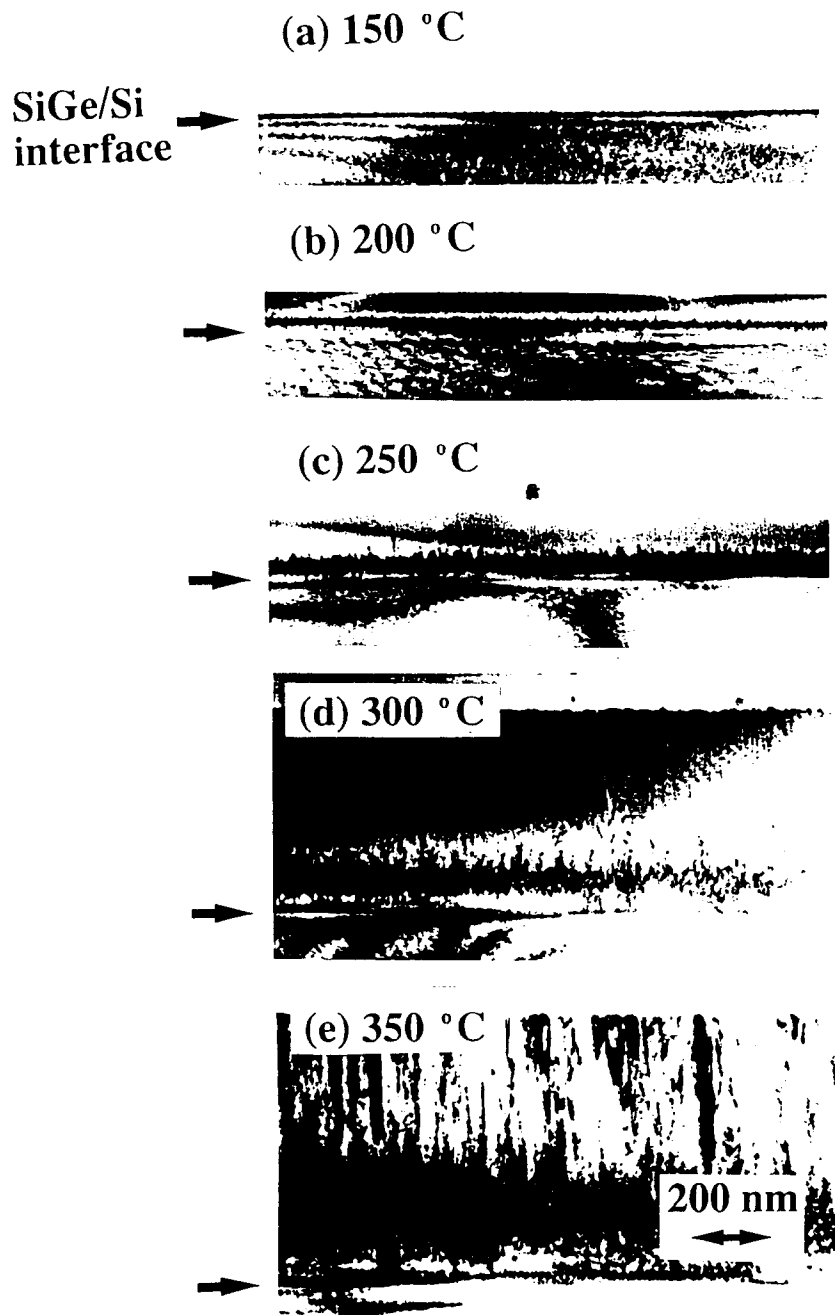


그림 1. 성장온도 변화에 따른 $Si_{0.79}Ge_{0.21}$ 박막의 TEM 단면도