

분자선에 피텍시를 이용하여 성장한 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ 이종접합구조에서의

In Situ-Doped Boron 의 확산 거동에 관한 연구

(Diffusion of *In Situ*-Doped Boron in $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x/\text{Si}$ heterostructure
Grown by Solid-Source Molecular Beam Epitaxy)

한국전자통신연구소 반도체연구단 윤 선진, 이 승창, 박 신중

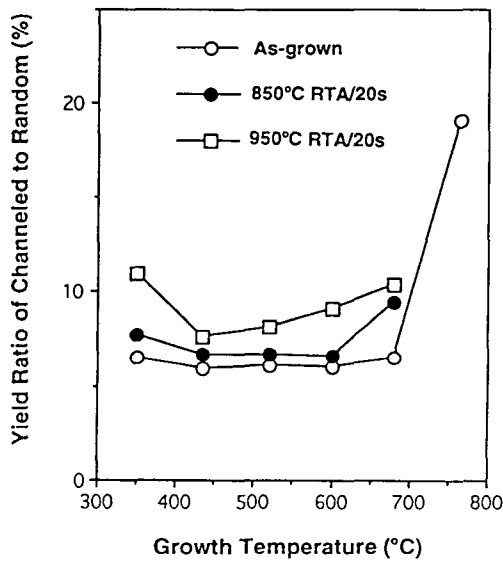
$\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 는 bandgap 조절이 가능하고 기존의 잘 발달되어 있는 Si 반도체 기술을 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 최근 수년간 heterojunction bipolar transistor (HBT) 에 적용하여 성공한 결과들이 계속 발표되고 있고, bipolar inversion channel field effect transistor, digital optoelectronic switches 등의 새로운 소자 구조에 적용 가능한 물질로 주목을 받으면서 보다 많은 흥미를 끌고 있다. HBT가 homojunction 소자들에 비해 여러 장점들을 가지고 있는 반면 이종접합 계면에서 dopant 원자들의 outdiffusion하여 electrical junction과 metallurgical junction 사이의 불일치를 초래할 경우 parasitic potential barrier를 유발하게 되어 collector current를 감소시킨다. 또한 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 과 Si 간에 존재하는 lattice mismatch로 인하여 Si 위에 성장된 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 박막내에는 strain이 수반되며, strain은 임계두께를 초과할 경우 dislocation을 형성하면서 이완된다. 이와 같이 성장중에 또는 후속열처리 과정에서 발생하는 dopant outdiffusion, strain relaxation 등은 소자의 전기적 특성을 저해하는 직접적인 원인이 된다. 본 연구에서는 strain이 존재하는 $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$ 박막과 strain이 일부 이완된 박막에서의 *in situ* doped boron profile을 서로 비교하고, 850°C, 950°C에서 20초간 급속열처리(RTA)를 하여 후속열처리에 의한 boron diffusion과 strain 이완을 포함한 결정성 열화와의 관계를 연구하였다. 또한 성장온도를 360°C - 765°C 범위내에서 변화시키면서 성장온도에 따른 박막의 열적안정성을 살펴보았다.

$\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$ 박막은 solid-source molecular beam epitaxy 방법으로 boron을 *in situ* doping하면서 성장하였다. Boron의 농도는 약 $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 으로 하였으며 $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$ 박막의 두께는 약 150 nm로 일정하게 하였다. 성장온도 360°C - 765°C 범위에서 성장한 후, 그리고 850°C, 950°C에서 20초간 RTA를 한 후 각 시편의 결정성을 He-ion channeling, double crystal x-ray diffraction (DXRD)방법을 사용하여 분석하였다. 그리고 boron diffusion profile은 secondary ion mass spectrometry (SIMS)를 사용하여 관찰하였다.

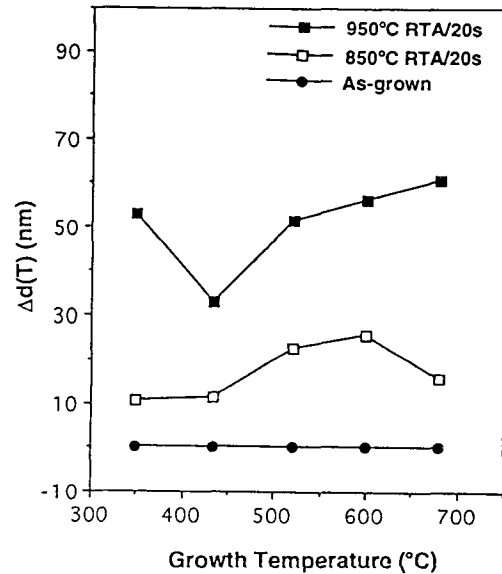
열처리 전후 박막의 특성을 나타내는 He-ion channeling 결과와 SIMS 분석 결과들을 각각

성장온도에 대하여 (그림 1)과 (그림 2)에 소개하였다. (그림 1)의 y-axis를 구성하는 yield ratio는 channeled spectrum과 random spectrum의 intensity ratio에 해당하며, 그 값이 적을수록 결정성이 우수한 박막임을 알 수 있다. DXRD 결과 역시 (그림 1)과 비슷한 경향을 보였다. (그림 2)에서 $\Delta d(T)$ 는 열처리 전과 열처리 후의 boron SIMS profiles에서 boron 농도 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 인 지점의 depth 차이를 의미한다.

이상의 연구 결과 열처리전 boron profile은 strain relaxation 정도에 무관하게 일정하였으나, $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$ 박막의 결정성이 열등할수록 열처리 후 boron diffusion이 보다 심하게 일어났음을 알 수 있었다. 또한 435°C 이상에서 성장한 $\text{Si}_{0.8}\text{Ge}_{0.2}$ 박막들의 경우 성장온도가 낮을수록 열처리에 의한 strain relaxation 정도가 적은 것을 알 수 있었다. 이는 metastably strained $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 의 임계두께가 성장온도가 낮을수록 증가한다는 연구결과를 뒷받침해 주는 결과로 판단된다.



(그림 1) 성장온도 360°C - 765°C 범위에서 성장한 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 박막들의 열처리 전, 후의 결정성을 보여주는 He-ion channeling 분석결과.



(그림 2) 성장온도 360°C - 680°C 범위에서 성장한 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ 박막들의 열처리 전, 후의 boron outdiffusion 정도를 나타내는 $\Delta d(T)$ 를 성장온도에 대해 도시한 그림.