

단일채널 Strained Si/SiGe 구조와 이중채널 Strained Si/SiGe 구조의 이동도 특성 비교

정종완*

세종대학교 나노공학과*

Comparison of Hole Mobility Characteristics of Single Channel and Dual Channel Si/SiGe Structure

Jongwan Jung*

Dept. of Nano Technology, Sejong Univ.*

Abstract : Hole mobility characteristics of single surface channel and dual channel Si/SiGe structure are compared, where the former one consists of a relaxed SiGe buffer layer and a tensile strained Si layer on top, and for dual channel structure a compressively strained SiGe layer is inserted between them. Due to the difference of hole mobility enhancement factors of layers between them, hole mobility characteristics with respect to the Si cap thickness shows the opposite tend. Hole mobility increases with thicker Si cap for single channel structure, whereas it decreases with thicker Si cap for dual channel structure.

Key Words : SiGe, hole mobility, single channel, dual channel

1. 서론

SiGe/Si epi 구조는 Ge 자체의 높은 정공 이동도와 Si/SiGe 접합에 의해 발생하는 strain에 의한 effective mass, scattering의 감소에 따른 추가적인 이동도의 증가도 이루어지기 때문에 현재의 나노급 반도체에서는 아주 중요한 물질이며 많은 학문적인 가치를 가지고 있는 구조이다. 최근에 Ge 자체의 높은 정공 이동도를 이용하기 위해서 고농도 pseudomorphic SiGe층을 이완된 SiGe 버퍼층위에 성장하고 윗층으로 Strained Si층으로 구성된 이중 채널 SiGe layer 구조에 대한 관심이 크다 [1-3]. 이러한 이중 채널 SiGe layer인 경우 기존의 단일 채널 SiGe 구조보다 높은 Ge 농도를 갖는 얇은 pseudomorphic 층의 성장이 가능하기 때문에 훨씬 특성이 좋은 에피막을 성장할 수 있고, 훨씬 높은 이동도를 얻을 수 있다. 본 논문에서는 단일 채널 SiGe 구조와 이중 채널 SiGe 구조의 수직 전계에 따른 정공 이동도의 특성을 비교하였다.

2. 실험

단일 채널 SiGe 구조는 relaxed SiGe buffer 층과 tensile strained Si cap 층으로만 구성되어 있다. 모든 에피는 UHV 장비를 사용하여 성장되었다. Si 기판위에 relaxed SiGe 버퍼층의 Ge 농도는 60%, 그리고 그 위의 strained Si는 약 4 nm 의 아주 얇은 두께로 길렀다. 이중 채널 SiGe 구조는 30%의 Ge 농도를 가진 relaxed SiGe 버퍼층 위에 pseudomorphic 하게 compressive strain을 갖는 SiGe를 기르고, strained Si cap 층을 길렀다. compressive strain SiGe의 두께는 약 12 nm, Ge 농도는 50%와 60% 두가지 이고, Si cap의 두께는 약 8 nm 였다. 표.1에 실험에 사용

된 에피층의 조건을 나타내었다.

표 1. 실험에 사용된 에피구조

| 구조 | SPLIT | 버퍼층 | Strained SiGe | Si(top) |
|------|-------|---------------------|-----------------------------|---------|
| 단일채널 | #1 | SiGe _{0.6} | - | 4 nm |
| 이중채널 | #2 | SiGe _{0.3} | SiGe _{0.5} (12 nm) | 8 nm |
| | #3 | SiGe _{0.3} | SiGe _{0.6} (12 nm) | 8 nm |

모든 에피층은 6인치 wafer위에 undoped 구조로 성장하였고, 정공의 이동도를 측정하기 위해 테스트 트랜지스터를 제작하였다. 제작 과정은 아래와 같다.

제일 먼저 에피층을 phosphorus로 200K 7E12, 80K 2E12, 20k 0.5E12의 3중 implant를 진행하여 다소의 N type이 되도록 하였다. Source, Drain anneal은 800C에서 튜브에서 진행하였다. 제작된 capacitor에서 capacitance와 제작된 트랜지스터에서 I-V를 측정하여 effective vertical field와 정공의 이동도를 얻었다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 단일 채널 (60% relaxed SiGe) 구조와 50%, 또는 60% 이중채널 구조의 밴드 다이어그램을 보여주고 있다.

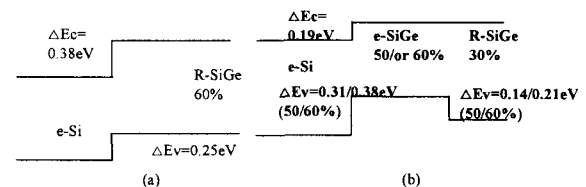


그림 1. (a) 단일채널 (Si/relaxed SiGe_{0.6}), (b) 이중채널 (Si/

SiGe_{0.5}, or SiGe_{0.6}/relaxed SiGe_{0.3})의 밴드 다이어그램

단일 채널과 이중 채널 모두 아주 낮은 수직전계에서는 윗층의 Si 층과 그 밑에 있는 SiGe층 (단일채널일 경우에는 SiGe 버퍼층, 이중 채널일 경우에는 strained SiGe층) 사이의 valence band offset으로 인해 정공은 SiGe 층에 머무르게 되고 높은 수직 전계에서는 정공이 끌려와 윗층인 Si 층에도 분포하게 된다. 이러한 정공의 분포는 게이트 전압에 따라 달라지며 또한 윗층의 Si의 두께에 따라서도 표면전위가 달라지기 때문에 영향을 주게 된다. 아래의 그림. 2는 단일채널 구조의 정공의 이동도 특성을 보여준다.

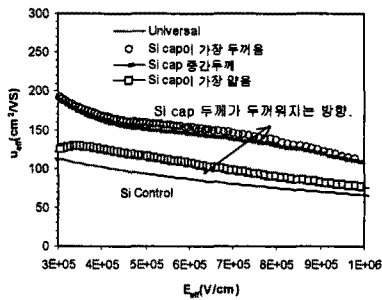


그림 2. 단일채널 (Si/SiGe_{0.6}) 구조의 정공이동도 특성

에피성장애 사용된 UHV의 두께 불균일성으로 인해 wafer내에서 Si cap의 두께 변화가 발생하였고, 따라서 Si cap 두께의 변화에 따른 전류특성의 변화를 볼 수 있다. Si 두께가 얇아지면 이동도가 감소한다. 이는 두께가 얇을 경우 정공이 relaxed SiGe층에 걸쳐 있는 수가 많아지게 되고, 따라서 tensile strained Si보다 이동도가 낮은 relaxed SiGe층에 의해 이동도가 감소하기 때문이다. 어느 정도의 두께를 가지는 경우에는 높은 수직전계에서는 두께에 크게 무관한 이동도 특성을 보인다. 이는 낮은 수직전계에서는 SiGe 층에 정공이 분포하여 이동도가 두께에 의존하게 되나 높은 수직 전계에서는 Si 두께에 별 무관하게 모두 Si 층에 모이게 되어 이동도의 변화가 없기 때문인 것으로 보인다. 그림. 3는 이중 채널(50%) 구조에서의 정공의 이동도를 나타내었다.

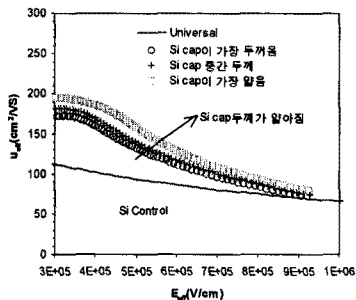


그림 3. 이중채널 (Si/SiGe_{0.5}/SiGe_{0.3})의 정공이동도 특성

저 수직전계에서는 단일채널과 유사한 값을 가지다가 높은 수직전계에서는 급격히 감소해서 단일 채널보다도 낮은 값을 가진다. 또한 Si 두께가 감소할수록 이동도가 증

가한다. 이는 단일 채널의 Si 두께에 따른 특성과 완전히 정반대의 특성을 보이는 것이다. 이중 채널의 경우 Strained SiGe에 모인 정공은 이 층의 compressive strain에 의해 relaxed SiGe 및 tensile strained Si 층의 정공 이동도 보다 높은 값을 갖는다 (60% 이중채널과 60% 단일채널 비교). Si 층의 두께가 작아질 경우 수직전계는 Buried SiGe 층에 정공을 오랫동안 머무르게 만들게 하는데, 따라서 두께가 얇아질수록 이동도가 높은 strained SiGe층에 정공이 머물러서 이동도가 증가하는 현상을 보이게 된다. 그림. 4는 60% 이중채널의 이동도 특성이다.

60% 이중 채널인 경우 이동도는 단일채널보다 높으며, 높은 수직 전계에서도 어느 정도 높은 이동도값을 유지한다. 또한 이동도의 Si cap의 두께 의존도가 50% 보다 적음을 알 수 있는데 이는 valence band offset의 높은 에너지 배리어 때문으로 보인다.

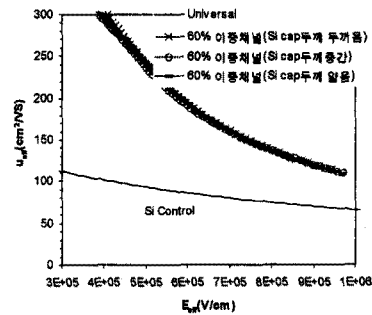


그림 4. 이중채널 (Si/SiGe_{0.6}/SiGe_{0.3})의 정공이동도 특성

4. 결론

본 연구에서는 단일채널 Si/SiGe_{0.6} 구조와 이중채널 (Si/SiGe_{0.5}/SiGe_{0.3}, Si/SiGe_{0.6}/SiGe_{0.3})구조의 정공 이동도 특성을 수직 전계 및 Si cap 두께에 따른 특성을 비교하였다. 단일채널에서는 cap 두께가 클수록 이동도가 높은 tensile Si에 머무르는 정공의 수가 많아져서 이동도가 커지고, 반대로 이중채널에서는 이동도가 높은 compressive SiGe에 머무르는 정공의 수가 적어져서 이동도가 줄어드는 반대의 특성을 보인다. 60% 이중채널구조는 수직전계가 증가하여도 꽤 높은 정공 이동도를 유지하였고 50% 이중채널은 높은 수직전계에서 거의 이동도의 증가가 사라졌으며 60% 단일채널은 50% 이중채널보다 높은 특성을 보였다.

참고 문헌

[1] J. Welsler, J. L. Hoyt, and J. F. Gibbons, *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 15, pp. 100 - 102, Mar. 1994.
 [2] J. Jung, M. L. Lee, S. Yu, E. A. Fitzgerald, and D. A. Antoniadis, *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 24, no. 1, pp. 10-12, Jan. 2003.
 [3] J. Jung, S. Yu, O. O. Olubuyide, J. L. Hoyt, D. A. Antoniadis, M. L. Lee, and E. A. Fitzgerald, *Appl. Phys. Lett.*, vol. 84, no. 17, pp. 3319-3321, Apr. 2004.