

Single crystalline Si nano-crystal의 제조 및 발광특성연구

홍영규 · 구자용

한국표준과학연구원 나노표면그룹 이종성장제어연구단

연구목표

실리콘의 발광특성에 관한 연구는 현재의 반도체 산업에서 실리콘이 차지하는 비중에서 그 중요성을 찾을 수 있다. 빛의 직접방출이 불가능한 간접 밴드갭을 갖고 있는 Si을 빛을 방출할 수 있는 구조로 제작하려는 시도는 오래도록 실패를 거듭해 왔으나, 1990년에 L. T. Canham이 porous Si에서 발광현상을 관측한 연구결과를 발표한 이래로 Si nanostructure를 이용하여 Si으로부터 빛을 얻으려는 시도가 계속되고 있다 [1-4].

Si nanostructure를 이용한 수많은 연구결과들은 다양한 제조방법으로 만들어진 나노구조에서 가시광이 방출되었다고 보여주고 있으며 빛의 방출원인으로 Si의 크기감소에 따른 양자효과를 거론하고 있으나, 이 들은 명확히 정의되지 않은 상태로 제조된 nanostructure를 이용한 연구로 Si외의 다른 불순물들이나 결합에 의한 발광효과를 포함하고 있으며 그 나노구조들의 크기 또한 불균일한 분포를 갖고 있다.

본 연구는 불순물 또는 결합에 의한 효과를 배제한, 순수한 단결정 실리콘으로 이루어진 나노구조에서 나타나는 발광현상에 대한 분석을 통해 Si의 양자효과에 의한 발광특성을 이해하고 광소자로서의 응용가능성을 타진하는데 그 목적이 있다.

이 연구를 위해서는 크기가 균일하고 그 성분이 순수하며, 결정방향이 동일한 단결정 Si nanocrystal을 제조하고, 그 결정의 크기를 정밀하게 제어하여 원하는 크기의 Si nanocrystal을 제조하는 것이 우선적인 목표이다. 이를 위해서는 Si nanocrystal의 크기를 정밀하게 제어할 수 있는 제조방법과 함께, 크기 및 결정성을 정확하게 측정할 수 있는 High resolution TEM을 이용한 정밀한 관측이 필수적인 요소라 할 수 있다.

연구방법

크기가 균일하고 결정방향이 동일한 Si nanocrystal을 제조하고, 그 크기를 점차 줄여나가며 크기에 따른 발광특성을 연구한다. 화학적으로 합성된 크기 8 nm의 Co 입자를 두께가 10 nm 정도인 SOI (silicon on insulator) wafer 위에 균일하게 도포시킨 뒤, 이 금속입자를 mask로 이용하여 SF₆-RIE (reactive ion etching) 방법으로 etching 하여 크기가 약 10 nm 인 Si nanocrystal을 제조하고, 이 후 Si nanocrystal의 크기를 정밀하게 제어하며 그 크기를 점차 줄여나가기 위해 dry oxidation 방법으로 Si nanocrystal

을 산화시켜 그 크기를 점차 줄여나간다 [그림 1]. 제조한 Si nanocrystal은 High resolution TEM을 이용하여 결정성을 확인하며 crystal의 정확한 크기를 측정하고, 이 결과와 함께 광학적 측정결과를 분석하여 Si의 양자효과에 따른 발광현상에 대한 근원적인 연구를 수행한다.

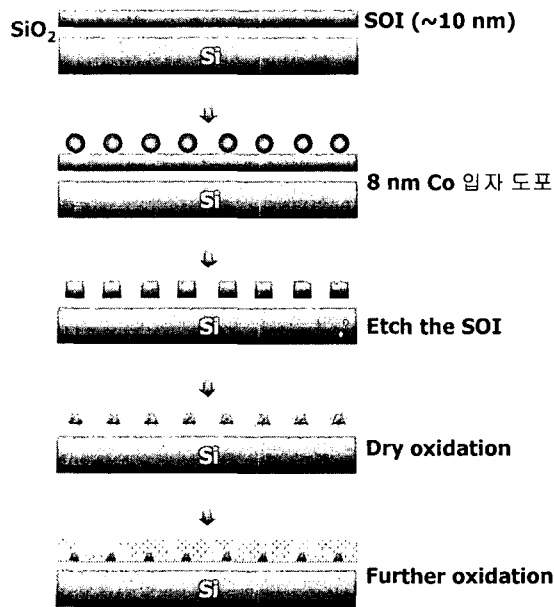


Fig. 1. Schematic diagram for manufacturing processes of Si nanocrystals.

연구결과 및 토의

Si nanocrystal 제조의 전단계로 nanocrystal의 크기 및 2차원적 분포의 균일성을 확보하기 위해 Si nanopillar의 제조시도를 통하여 정확한 제조방법을 확인하였다 [그림 2]. 화학적으로 합성된 크기 8 nm의 Co 입자를 Si 표면에 spin coating 방법으로 균일하게 도포시킨 뒤, 이 금속입자를 mask로 이용하여 SF_6 -RIE (reactive ion etching) 방법으로 etching 하여 크기가 10 nm로 균일하며, 2차원으로 균일하게 분포된 Si nanopillar를 제조하였다[그림 2].

Si nanocrystal을 제조하기 위해서는 고립된 구조의 Si이 필요하여, Si wafer 대신 두께가 약 10 nm 인 SOI (silicon on insulator) wafer를 사용하여 크기가 약 10 nm 인 Si

nanocrystal을 제조하였다. 제조한 10 nm의 Si nanocrystal은 dry oxidation 방법으로 산화시켜 그 크기를 점차 줄여나갔으며, Si nanocrystal의 단계별 크기변화 과정은 먼저 conventional TEM으로 관찰하였다.

관찰결과 크기가 10 nm 에서 5 nm 까지는 Si nanocrystal들이 원래기판의 결정성을 그대로 간직하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 conventional TEM으로 관측한 결과에서는, 실제로 양자효과에 의한 광-발광이 일어날 것으로 예상되는 크기인 4 nm 이하의 nanocrystal이 만들어졌을 것으로 예상되는 시료의 경우는 Si nanocrystal의 lattice image를 얻을 수 없었을 뿐 아니라 contrast image도 얻기가 쉽지 않았다. 동일한 조건에서 제조한 시료를 가지고 UVEM으로 관측한 결과 크기가 약 3 nm인 Si nanocrystal의 lattice image를 확인할 수 있었으며, 이로부터 nanocrystal의 크기가 3 nm 로 줄어들 때 까지는 Si/SiO₂ 계면의 strain에 의한 deformation이 없이 원래의 기판과 같은 결정성이 유지됨을 확인할 수 있었다 [그림 3]. 크기가 3 nm 보다 작은 Si nanocrystal은 관측하지 못했으나, 이는 추후의 계속되는 실험을 통해 관측할 수 있을 것으로 예상된다. 계속되는 실험을 통해 1 nm 이하까지의 Si nanocrystal을 관측하거나 또는 Si/SiO₂ 계면의 strain에 의한 deformation이 시작되는 지점을 명시하게 되면, Si의 크기 변화에 따른 양자효과 및 그에 따른 발광특성에 대한 근본적인 이해에 한층 접근할 수 있을 것으로 기대된다.

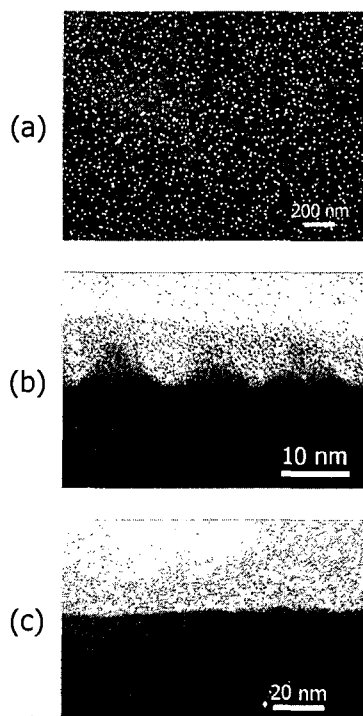


Fig. 2. Si nanopillar 와 nano crystal: (a) SEM image of Si nanopillars, (b) TEM image of Si nanopillars, (c) conventional TEM image of Si nanocrystals of 5 nm

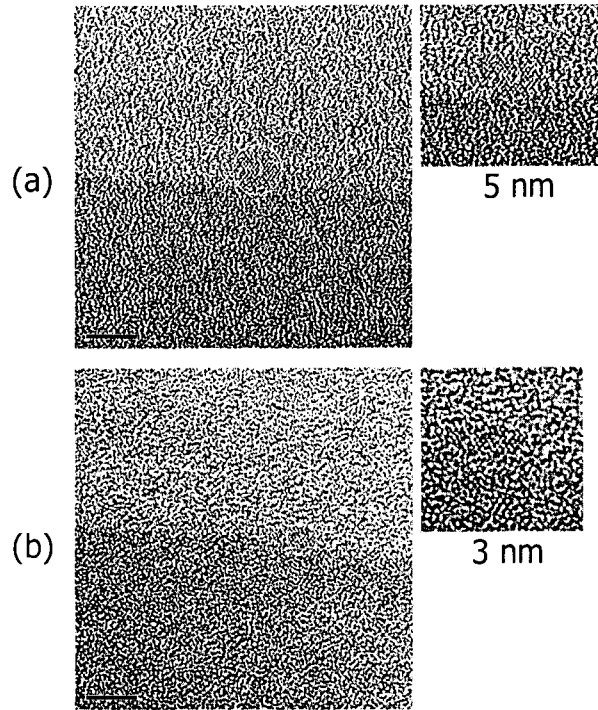


Fig. 3. 40 HVEM image of Si nanocrystals: (a) 5 nm nanocrystal, (b) 3 nm nanocrystal

참고문헌

- [1] L. T. Canham, *Appl. Phys. Lett.* **57**, 1046 (1990).
- [2] Z. H. Lu, D. Lockwood, and J.-M. Baribeau, *Nature* **378**, 258 (1995).
- [3] G. Belomoin *et al.*, *Appl. Phys. Lett.* **80**, 841(2002).
- [4] Jan Valenta *et al.*, *Appl. Phys. Lett* **80**, 1070 (2002).
- [5] Y. K. Hong *et al.*, *ChemComm.* 3034 (2003).