

PLD로 제작한 Si 박막에서의 광학적 특성 분석

Optical properties of Si thin films grown by PLD

배상혁*, 이상렬**

(Sang Hyuck Bae, Sang Yeol Lee)

Abstract

Si thin films on p-type (100) Si substrate have been fabricated by pulsed laser deposition technique using a Nd:YAG laser. The pressure of the environmental gas during deposition was varied from 1 to 3 Torr. After deposition, Si thin film has been annealed again at nitrogen ambient. Strong violet-indigo photoluminescence have been observed from Si thin film annealed in nitrogen ambient gas. As increasing environmental gas pressure, weak green and red emissions from annealed Si thin films also observed by photoluminescence.

Key Words(중요용어) : Si thin film, Pulsed laser deposition, photoluminescence, annealing

1. 장

다공질의 Si 결정에서 빛의 발광을 관찰한 Canham의 발견 이후 많은 연구자들은 Si를 이용한 발광소자의 활용에 대한 연구를 시작했다[1]. 실리콘은 기존에 매우 다양한 범위의 소자에 사용되었으며, 현존하는 장비를 사용하여 광소자에 대한 응용이 실현된다면 Si는 광소자로서 매우 매력적인 물질이 될 수 있다. Si에서의 발광에는 매우 여러 가지의 이론들이 제시되었는데, quantum size effects에 기초한 Si에서의 발광과 [2,3] SiO_x 표면에서의 defect에 의한 발광이 대표적이다[4,5]. 펄스 레이저 증착법은 이러한 실리콘 나노 결정을 합성하는데 적합한 증착법으로 알려져 있다[6]. Yoshida 등은 펄스 레이저 증착법을 통해 분위기 가스압을 조절하여 Si 나노 결정의 크기를 조절할 수 있다고 발표하였다[6]. Patrone 등은

PLD법을 통해 상온에서 IR영역에서 UV영역까지 발광 특성을 조절할 수 있다고 발표하였다[7]. 본 연구에서는 펄스 레이저 증착법을 통해 실리콘 박막을 제작하였으며, 분위기 He 압력의 변화를 통한 Si 박막의 발광 특성을 분석하였다.

2. 실험

본 실험에서 사용된 증착법은 신물질 연구에 각광받고 펄스 레이저 증착법을 사용하였다[8]. 본 실험에 사용된 PLD 시스템은 터보펌프를 사용하여 10⁻⁶ Torr 까지 초기 진공을 만들 수 있으며, 기판홀더를 이용하여 기판과 타겟간의 거리를 조절할 수 있다. 기판온도를 조절하기 위하여 저항가열히터를 사용하여 기판 온도를 제어하였다. 레이저원으로는 355 nm, 532 nm, 1064 nm의 파장을 사용할수 있는 Q-switched Nd:YAG 펄스 레이저를 사용하였다[9]. 기판으로는 1 cm × 1 cm 크기의 (001) p형 Si 기판을 사용하였다. 증착동안에 레이저 펄스가 연속적으로 타겟의 새로운 면에 조사되도록 하기 위하여 타겟 홀더를 분당 2회전하게 세팅하였다. 실험변수로는 분위기 He가스의 압력과 레이저의 파장이었다. 후 열처리 효과를 연구하기 위해서 증착된 박막은

* : 연세대학교 전기전자공학과 석사과정

(E-mail : jerome@yonsei.ac.kr)

** 연세대학교 전기전자공학과 부교수

(서울시 서대문구 신촌동 연세대학교,

Fax: 02-364-9770

E-mail : sylee@yonsei.ac.kr)

in-situ로 질소와 산소분위기압 하에서 760°C의 기판 온도로 후 열처리를 수행하였다. 박막의 광학특성 분석을 위해서 Ar ion laser를 사용한 PL을 사용하여 분위기 He압력의 변화에 따른 광학적 특성을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 He 압력변화에 따른 PL특성

실리콘 박막의 광학적 분석을 위해 PL을 사용하였다. 분위기 He가스를 1 Torr에서 3 Torr로 변화시키며 증착시킨후 질소분위기에서 기판온도를 760°C로 후열처리한 Si 박막의 PL특성이 그림 1에 나타나 있다. He 1 Torr분위기에서 증착한 Si 박막의 경우 강한 violet-indigo(2.7 eV)의 발광을 관찰 하였다. 분위기 He 가스의 압력을 증가시키면서 PL특성은 red shift가 일어나기 시작하여, He 2 Torr에서는 green(2.1 eV)의 발광현상이 나타났으며, He 3 Torr에서는 red(1.9 eV)의 발광현상이 나타나는 것을 알 수 있다. Yoshida등은 분위기 가스압을 조절하여 Si 나노 결정의 크기를 조절하고 이를 통해 PL peak의 red shift를 관찰하였다[6]. Si 박막에서의 발광 특성

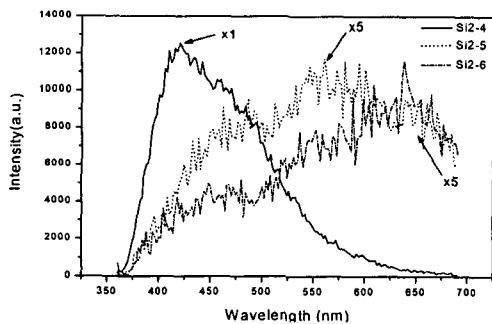


그림 1. (a) He 1 Torr에서 증착 후 질소 분위기에서 후 열처리, (b) He 2 Torr에서 증착 후 질소 분위기에서 후 열처리, (c) He 3 Torr에서 증착 후 질소 분위기에서 후 열처리한 후 Si 박막에서의 PL특성

은 defect level에 의한 발광과 quantum size effect에 의해 나노 사이즈의 크기를 갖는 결정에 의해 나타나는 것으로 알려져 있으며, 나노 사이즈의 변화시 방출되는 에너지의 파장이 변화하는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서도 Yoshida등의 실험과 마찬가지로 He압력변화를 1 Torr에서 2, 3 Torr로 증가시키면서 증착시킨 Si 박막에서 green과 red emission

이 나타났으며, 이는 증착된 박막의 결정크기가 커지면서 quantum size effect에 의해 red shift가 일어난 것으로 사려된다[10]. 펄스 레이저 증착법에 의한 증착시 레이저가 조사된 후 타겟물질은 가스 분위기 하에서 분위기 가스의 원자들과 충돌하여 기판에 도달하게 된다. 이때 타겟 물질은 충돌에 의해 운동에너지의 손실이 생기게 된다. 본 실험에서는 분위기 He 가스 압력의 증가로 인해 타겟에서 기판으로 이동하는 Si 원자들이 운동에너지를 소모하면서 낮은 He압력에서보다 큰 무게를 갖는 Si분자들이 기판에 도달하여 증착되는 것이다. 이는 PL 결과를 통해 분위기 He 가스의 증가로 인한 발광 파장의 증가로 확인해 볼 수 있다.

3.2 후 열처리의 효과

그림 1에 나타난 바와 같이 분위기 He 압력의 변화에 의해 Si 박막에서 나타난 PL 특성의 red shift는 quantum size effect에 의한 것으로 사려된다. Si 나노 박막에서의 blue emission은 SiO_x 내의 oxygen vacancy등과 같은 defect에 의해서 나타난다고 보고되고 있다. 본 실험에서 He 1 Torr에서의 발광특성은 2.7 eV로 defect에 의한 파장과 유사하나 분위기 He 압력을 증가시키면서 나타난 red shift에 의해 본 실험에서 제작된 박막의 PL특성은 defect에 의한 것이 보다는 quantum size effect에 의한 것으로 사

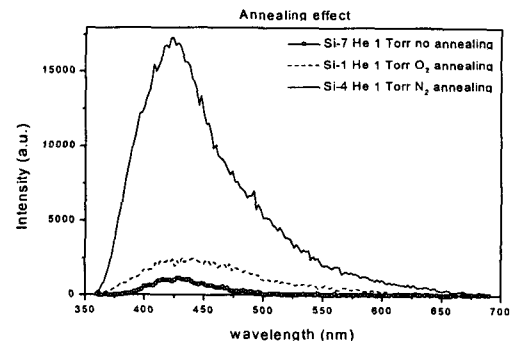


그림 2. He 1 Torr에서 증착후 (a) 후 열처리하지 않은 Si 박막, (b) 산소분위기에서 760 °C에서 후 열처리, (c) 질소분위기에서 760°C에서 후 열처리한 Si 박막의 PL 특성

려된다. 그림 2에는 He 1 Torr에서 증착후 (a) 후 열처리하지 않은 Si 박막, (b) 산소분위기에서 760 °C에서 후 열처리, (c) 질소분위기에서 760°C에서 후 열처리한

Si 박막의 PL특성이 나타나 있다. 질소 분위기에서 후 열처리한 박막의 발광특성과 산소 분위기에서 후 열처리한 박막의 특성비교시 질소 분위기에서 후 열처리한 Si 박막에서 보다 강한 발광특성이 나타난 것을 알 수 있다. 일반적인 산소분위기에서의 후 열처리의 영향은 1) 산소는 Si nanostructure 표면의 dangling bond와 결합함으로써 인해 산화막을 형성하게되고, non-radiative 재결합 center의 수를 감소시켜 발광특성을 향상 시킨다. 2) Silicon core를 감소시키면서 발광 intensity가 blue shifting이 일어나게 만든다. 3) Si-SiO_x interface에서의 defect에 기인한 발광을 유도하는 silicon oxide의 양이 샘플 내에서 증가하게 되어 강한 발광 특성을 나타내게 되는데, 그림 2에서 보는바와 같이 산소 분위기에서 열처리한 Si 박막의 PL특성과는 매우 다른 것을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서 얻어낸 Si 박막은 defect에 의한 발광 특성 보다는 나노크기의 결정을 갖는 것에 의한 것으로 사려되며, He 압력의 변화로 결정의 크기가 변화하며 red shift가 일어나는 것 이다.

4. 결론

본 연구에서는 펄스 레이저 증착법으로 Si 박막을 제작하였다. 분위기 He 압력을 1 Torr에서 3 Torr로 증가시키면서 blue emission에서 green, red emission으로 red shift가 나타났으며, 이는 Si 나노결정의 크기의 증가에 의한 것으로 사려된다. 이는 산소와 질소분위기에서의 후 열처리특성으로 확인해 볼 수 있다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (1999-2-114-004-5) 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] L. T. Canham, Applied Physics Letters, 57, 1990, p. 1046.
- [2] L. Patrone, D. Nelson, V. Safarov, M. Sentis, W. Marine, Journal of Luminescence 80, 1999, p. 217.
- [3] Y. Yamada, T. Orii, I. Umez, S. Takeyama, T. Yoshida, Japanese Journal of Applied Physics, 35, 1996, p. 1361.
- [4] M.S. Brandt, H.D. Fuchs, M.Stutzmann, J. Weber, M. Cardona, Solid State Communications, 81, 1992, p. 302.
- [5] L.N.Dinh, L.L. Chase, M. Ballooch, W.J. Siekhaus, F. Wooten, Physical Review, B 54, 1996, p. 5029.
- [6] T. Yoshida, Y. Yamada, T. Orii, Journal of Applied Physics, Vol. 83, No. 10, 1998, p. 5427.
- [7] L. Patrone, D. Nelson, V. I. Safarov, M. Sentis, W. Marine, S. Giorgio, Journal of Applied Physics, Vol. 87, No. 8, 2000, p. 217.
- [8] S. H. Bae, S. Y. Lee, B. J. Jin, S. Im, Applied Surface Science, 154-155, 2000, p. 458.
- [9] Y.S. Jeong, S.Y. Lee, H.K. Jang, I.S. Yang, S.H. Moon, and B.D. Oh, Applied Surface Science, vol.109, 1997, p. 424.
- [10] T. Yoshida, S. Takeyama, Y. Yamada, K. Mutoh, Applied Physics Letters, 68, 1996, p. 1772.