

선택적인 Si 이온 주입이 비정질 실리콘의 레이저 결정화에 미치는 영향

남 우 진, 이 민 철, 한 민 구
 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 전기재료 및 소자 실험실

Effects of Selective Si Ion-Implantation on Excimer Laser Annealing of Dehydrogenated a-Si Film

Woo-Jin Nam, Min-Cheol Lee and Min-Koo Han
 School of electrical engineering, Seoul National University, http://emlab.snu.ac.kr

Abstract - 본 실험에서는 플라즈마 화학기상증착(PECVD)으로 증착한 비정질 실리콘(amorphous silicon, a-Si) 박막에 국부적으로 Si+ 이온을 주입한 후 엑시머 레이저 어닐링(excimer laser annealing, ELA)을 수행하여 그레인의 수평 성장(lateral growth)에 미치는 영향을 관찰한다. Si+ 이온 주입은 비정질 실리콘 박막의 원자 결합 에너지를 효과적으로 감소시키는 역할을 하여 박막이 녹기 시작하는 문턱(threshold) 에너지가 105mJ/cm²에서 85mJ/cm² 까지 낮아지는 것을 확인하였다. 결과적으로 선택적인 Si 이온 주입을 통해 비정질 박막의 결정화 시 온도 구배에 의한 결정핵(nucleation) 형성의 차이를 유발시킴으로써 위치 제어가 가능한 1um 크기를 갖는 수평 성장 그레인을 얻었다.

상증착(PECVD) 방법으로 증착하였다. 증착된 박막은 400°C 질소 분위기에서 4시간 동안 열처리를 수행하여 탈수소화 시켰다. 실리콘 이온은 그림 1에 도시된 감광막 마스크 패턴을 이용하여 선택적으로 주입시켰으며, 가속전압 100 keV에서 주입량을 1×10¹³ ions/cm²에서 1×10¹⁶ ions/cm² 까지 변화시켰다. 그리고 산소 플라즈마 처리를 통하여 감광막 마스크를 제거한 후 레이저 결정화(XeCl, λ=308nm)를 상온에서 수행하였다. 결정화 과정에서 별도의 capping layer나 추가의 열처리 공정은 없었다.

1. 서 론

최근 다결정 박막 트랜지스터(polycrystalline silicon thin film transistor, poly-Si TFT)를 제작하는 방법으로 엑시머 레이저 어닐링(excimer laser annealing, ELA)을 통한 비정질 실리콘(amorphous silicon, a-Si)의 저온 결정화 기술이 널리 이용되고 있다[1][2]. 그러나 레이저 결정화를 통해 박막을 결정화시키는 경우 박막 내 무작위적인 결정핵 생성에 의해 불균일한 구조를 갖는 그레인이 형성되기 쉽고 결정화 에너지에 따라서 그레인 크기의 편차가 발생하는 문제가 있다[3][4]. 이러한 문제를 해결하려는 노력으로 현재 capping layer[5][6], recessed 채널 방식[7] 등을 이용하여 그레인의 형성 위치 제어가 가능하고 그레인 크기의 편차를 줄이는 다양한 기술들이 연구되고 있다.

한편 실리콘 이온(Si+) 주입(ion-implatation) 기술을 고상 결정화(SPC) 또는 레이저 결정화 공정에 이용한 연구가 발표된 바 있다[8][9]. 또한 박막의 위치에 따라 실리콘 이온의 주입량을 달리하여 선택적으로 2단계 이온 주입을 수행하고 박막의 고상 결정화를 수행한 결과 결정핵 생성 확률을 제어한 방법이 제안되기도 하였다[10]. 그러나 선택적인 실리콘 주입이 레이저 결정화 시 미치는 영향에 대해서는 아직 보고된 바가 없다.

본 실험에서는 비정질 실리콘 박막 위에 선택적으로 실리콘 이온 주입(dose ≥ 5×10¹⁴ ions/cm²)을 수행하고 레이저 결정화 결과를 관찰하였다. 실리콘 이온이 주입된 영역은 비정질 실리콘 박막의 녹는점이 낮아지며 결과적으로 레이저 결정화 시 위치에 따른 박막의 온도 구배가 형성되어 수평 성장 그레인이 1um 크기까지 성장하는 것을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

먼저 석영(quartz) 기판 위에 800Å 두께의 수소화된 비정질 실리콘 박막을 300°C 에서 플라즈마 화학기

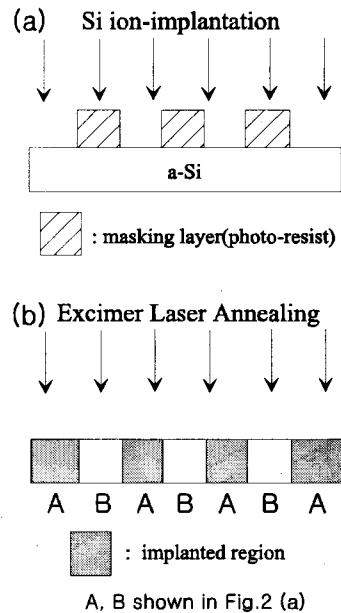


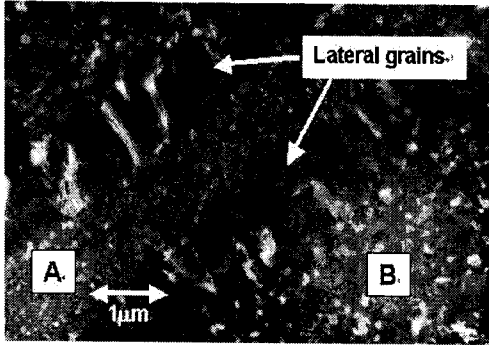
그림 1. 선택적인 실리콘 이온 주입 방법(a) 및 레이저 결정화(b)

2.2 결과 분석

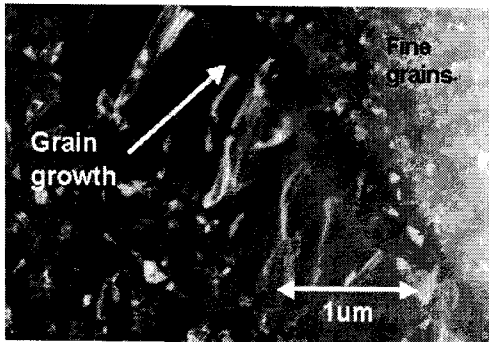
그림 2a, 2b는 실리콘 이온의 주입량(dose)이 1×10¹⁶ ions/cm² (가속전압 100 keV)이고 레이저 결정화 에너지가 340mJ/cm² 인 경우에 형성된 다결정 실리콘 박막의 평면 TEM 사진이다. 그림에서 A 영역이 선택적으로 이온이 주입된 영역이며(B 영역은 감광막 마스크 영역), A와 B 영역의 경계 근방에서부터 1um의 크기를 갖는 수평 성장 그레인이 성장했음을 확인할 수 있다. 그리고 A 영역에서 매우 작은 그레인들(~100Å)이 수평 성장 그레인 옆에 존재하는 것을 확인하였다.

다음으로 실리콘 이온의 주입량 변화에 따라 그레인 형성에 차이가 발생하는 것을 관찰하였다. 주입량이 5×

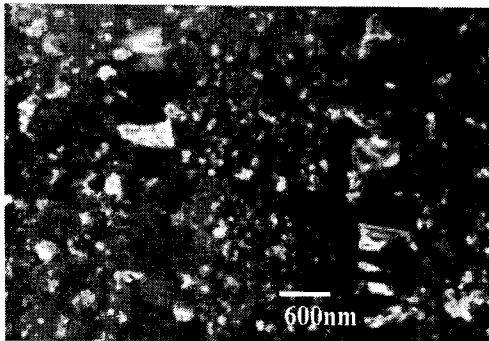
10^{14} ions/cm² 인 경우 수평 성장 그래인 크기가 약간 감소



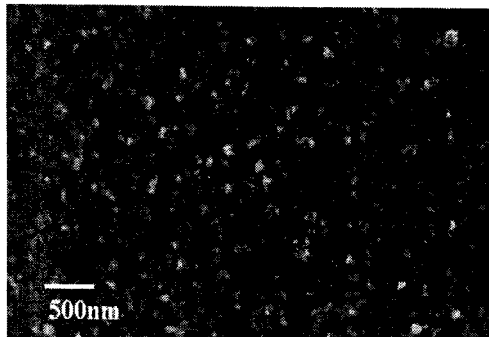
(a) Si+ ion dose 1×10^{16} ions/cm²



(b) Si+ ion dose 1×10^{16} ions/cm² (확대사진)



(c) Si+ ion dose 5×10^{14} ions/cm²



(d) Si+ ion dose 1×10^{13} ions/cm²

그림 2. 실리콘 이온 주입량(dose)에 따른 레이저

결정화(XeCl, $\lambda = 308\text{nm}$) 시 그래인 성장 TEM 사진

소한 것을 볼 수 있으며(그림 2c), 주입량이 1×10^{13} ions/cm² 로 낮은 경우 일반적인 결정화 공정과 비슷한 수준의 작은 그래인이 형성됨을 확인하였다(그림 2d).

레이저 에너지 밀도에 따른 수평 성장 그래인의 크기 변화 양상은 그림 3에서 알 수 있듯이 일반적인 레이저 어닐링의 경우와 유사한 경향을 나타내며 그래인이 더 크게 성장했음을 보여주고 있다. 본 실험의 경우 SLG(super lateral grain) 현상이 일어나는 레이저 에너지 밀도는 340mJ/cm^2 이며, 크기의 편차가 작은 우수한 그래인을 얻을 수 있었다.

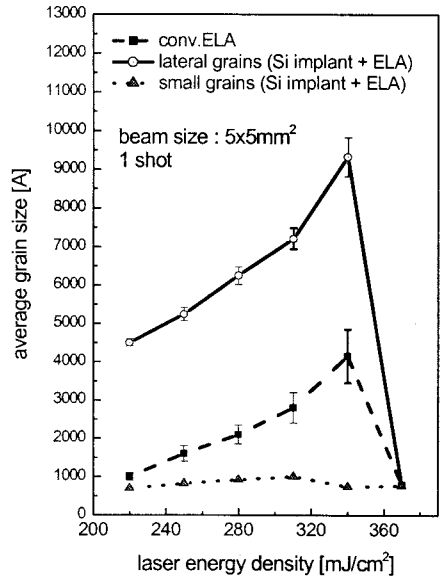


그림 3. 레이저 에너지 밀도 변화에 따른 다결정 실리콘 그래인 크기 변화

2.2 토 의

실리콘 이온이 비정질 실리콘 박막 내로 주입되면 박막 내의 격자간 결합과 충돌하여 격자간 결합 에너지를 약화시키며(9), 그 결과 이온 주입이 수행되지 않은 박막의 녹는 온도보다 낮은 온도에서 먼저 박막이 녹게(melted) 된다. 실제 실험 결과 비정질 실리콘 박막의 다결정화가 일어나는 레이저의 문턱 에너지 값이 105mJ/cm^2 에서 85mJ/cm^2 로 20mJ/cm^2 정도 감소한 것 확인할 수 있었다. 따라서 이온 주입 수행 경계 영역에서 결정핵(nucleation)이 먼저 생성되어 이온 주입이 수행된 영역으로 온도 구배에 의한 수평 성장 그래인이 자라게 된다.

레이저 조사 시 박막이 흡수하는 열에너지는 전체 에너지에서 박막을 녹이는데 필요한 에너지를 뺀 차액이 된다. 그러므로 이온 주입 영역이 수행된 영역은 박막의 녹는 온도가 상대적으로 낮으므로 박막이 흡수한 열에너지는 상대적으로 높게 된다(그림 4b). 그리고 이온 주입의 경계 부분은 열전달에 의한 온도 구배 효과가 나타나게 된다. 이제 박막이 냉각되기 시작하여 박막의 녹는 점 부근에 이르게 되면 박막이 고상화되기 시작하며 이온 주입 경계 부분에서 약간 안쪽으로 치우친 지점($2000 \sim 3000 \text{Å}$)이 수평 성장 그래인이 자라기 시작한다(그림 4c). 그리고 수평 성장 그래인은 녹아있던 박막이 냉각되어 작은 크기의 그래인이 자라게 되어 수평 성장 그래인의 성장과 충돌할 때까지 자라게 된다(그림

4d).

또한 약 400mJ/cm² 이상의 레이저 에너지를 조사한 결과 이온 주입 영역의 박막이 부분적으로 터지기 (ablation) 시작함을 관찰하였는데, 이는 주입된 실리콘 이온이 실리콘 격자 결합을 파괴하면서 결합 에너지를 낮추는 역할을 한다는 사실을 뒷받침해준다.

[참고 문헌]

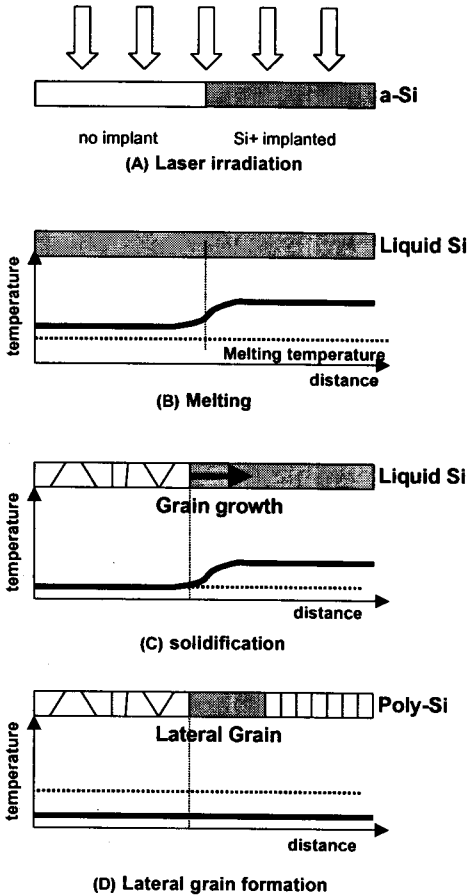


그림 4. 비정질 실리콘 박막의 레이저 결정화(a) 공정 시 선택적인 실리콘 이온 주입에 의한 박막 내 온도 구배 형성(b), 고상화 진행(c) 및 수평 성장 그래인 성장(d)

3. 결 론

본 실험에서는 선택적인 실리콘 이온 주입이 비정질 실리콘의 레이저 결정화 시 미치는 영향을 실리콘 이온 주입량, 레이저 에너지 밀도, 그래인 성장 기구의 관점에서 살펴보았다. 비정질 실리콘 박막 내에 주입된 실리콘 이온은 실리콘 격자 결합을 약화시켜 레이저 조사 시 박막의 녹는점을 낮추는 역할을 하게 되므로 선택적인 실리콘 이온 주입을 통해 박막의 녹는점 차이에 의한 온도 구배 효과를 인위적으로 형성할 수 있다. 그리고 이러한 온도 구배 형성에 의해 박막의 냉각 시 결정핵 생성의 차이를 유발시킴으로써 위치 제어가 가능한 수평 성장 그래인을 얻을 수 있다. 그 결과 이온의 주입량이 1×10^{16} ions/cm² 이고 레이저 에너지 밀도가 340mJ/cm² 일 때 수평 성장 그래인이 이온 주입 경계 부근에서 이온 주입 영역으로 1um 크기까지 자라는 것을 확인하였다.

- [1] T. Sameshima, M. Hara, and S. Usui, XeCl Excimer Laser Annealing Used to Fabricate Poly-Si TFTs, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 28, No. 10, 1989, pp.1789-1793
- [2] H. Watanabe, H. Miki, S. Sugai, K. Kawasaki and T. Kioka, Crystallization Process of Polycrystalline Silicon by KrF Excimer Laser Annealing, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 33, No. 8, 1994, pp.4491-4498
- [3] James S. Im., H. J. Kim and M. O. Thompson, Phase Transformation Mechanisms Involved in Excimer Laser Crystallization of Amorphous Silicon Films, *Appl. Phys. Lett.*, 63(14), 1993, pp.1969-1971
- [4] H. J. Kim and James S. Im, New Excimer Laser Crystallization Method for Producing Large-grained and Grain Boundary-location-controlled Si Films for Thin Film Transistors, *Appl. Phys. Lett.*, 68(11), 1996, pp.1513-1515
- [5] Jae-Hong Jeon, Min-Cheol Lee, Kee-Chan Park, Sang-Hoon Jung, Min-Koo Han, A New Poly-Si TFT with Selectively Doped Channel Fabricated by Novel Excimer Laser Annealing, *Tech. Digest of IEDM 2000*, San Francisco, USA, 2000, pp.213-216
- [6] L. Mariucci, R. Carkuccio, A. Pecora, V. Foglietti, G. Fortunato, P. Legagneux, D. Pribat, D. Della Sala, J. Stoemenos, Lateral growth control in excimer laser crystallized polysilicon, *Thin Solid Films*, 337, 1999, pp.137-142
- [7] H-C. Cheng, L-J. Cheng, C-W. Lin, Y-L. Lu and C-Y. Chen, High Performance Low-Temperature Processed Polysilicon TFTs Fabricated by Excimer Laser Crystallization with Recessed-Channel Structure, *Technical Digest of AMLCD 2000*, Tokyo, Japan, pp.281-284
- [8] H. Kumomi and T. Yonehara, Transient nucleation and manipulation of nucleation sites in solid-state crytllization of a-Si films, *J. Appl. Phys.* Vol. 75, No. 6, 1994, pp. 2884-2901
- [9] Y. Morita, and T. Noguchi, UV Pulsed Laser Annealing of Si+ Implanted Silicon Film and Low-Temperature Super-Thin Film Transistors, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 28, No. 2, 1989, pp.L309-L311
- [10] H. Kumomi and T. Yonehara, Selective Nucleation-based Epitaxy (SENTAXY):A Novel Approach for Thin Film Formation, *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 36, No. 3B, 1997, pp.1383-1388