

論文2000-37SD-4-4

이온 질량 주입이 금속 유도 측면 결정화에 미치는 영향

(Effect of Ion Mass Doping on Metal-Induced Lateral Crystallization)

金兌炅, 金奇範, 尹汝建, 金昶勳, 李炳一, 朱承基

(Tae-Kyung Kim, Gi-Bum Kim, Yeo-Geon Yoon, Chang-Hoon Kim, Byung-Il Lee, and Seung-Ki Joo)

요약

금속 유도 측면 결정화에 의한 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 제작에서 이온 질량 주입이 MILC 속도 및 거동에 미치는 영향을 분석하였다. 비정질 실리콘에 도펀트를 주입하거나 이온충돌을 가하면 MILC의 속도가 50% 이상 감소하고 MILC선단이 불균일 해졌다. IMD에 따른 비정질 실리콘 박막의 성질 변화를 분석하기 위하여 자외선 반사도 및 표면 거칠기를 관찰하였고, 이온 충돌에 의한 표면 거칠기의 증가가 MILC 속도 감소와 균일도에 영향을 주는 것으로 나타났다.

Abstract

Ion mass doping method has been implemented for the fabrication of large area electronic devices such as TFT-LCD. In this work, the effect of ion mass doping on the velocity and the behavior of MILC was investigated. When amorphous silicon was either doped or bombarded by accelerated ions, MILC velocity was reduced by over 50% and the front edge of MILC became coarse. In order to analyze the dependence of silicon film's properties on ion mass doping, ultraviolet reflectance and surface roughness were investigated. Both the velocity and the behavior of MILC were found to be related with the increase of surface roughness by ion bombardment.

Keyword: metal-induced lateral crystallization, ion mass doping, reflectance, roughness, bombardment

I. 서론

비정질 실리콘 박막 트랜지스터를 사용하고 있는 액정 표시 소자 (Liquid Crystal Display; LCD)의 고화질

* 正會員, 서울 大學校 材料工學部
(School of Materials Science and Engineering, Seoul National Univ.)

※ 본 연구는 서울대학교 공학 연구소를 통한 1999년도 디스플레이 연구조합의 연구비 지원으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

接受日字:1999年11月10日, 수정완료일:2000年3月23日

화, 대면적화 및 경제성 향상을 위한 구동회로와 화소 소자의 집적을 위해 고 이동도와 저 누설 전류의 특성을 갖는 다결정 실리콘(Poly-Si) 박막 트랜지스터 (Thin Film Transistor; TFT) 가 요구되고 있다. 본 연구에 앞서 보고한 바에 따르면 금속 유도 측면 결정화(Metal-Induced Lateral Crystallization; MILC) 라는 새로운 방법에 의해 비정질 실리콘의 결정화 온도를 500°C이하로 낮출 수 있었고 전자 이동도와 같은 전기적 특성도 매우 우수함이 밝혀졌다.^[1] 소오스와 드레인 영역에 니켈 박막을 증착시켜서 금속 유도 결정화 (Metal Induced Crystallization ; MIC)에 의한 이들 영역의 도펀트 활성화 및 결정화 후 측면으로의 결정화에 의해 채널 영역을 결정화시켰다. 그러나, 이 방법에

서는 채널 영역의 불순물 금속 영향은 배제시킬 수 있으나, 소오스, 드레인의 접합부분에 Ni 금속의 오염에 의한 고 동작 전압에서의 누설 전류 문제가 남아있었다. 기존의 Poly-Si TFT에서는 LDD(Lightly Doped Drain) 구조^[2]와 도핑 offset^[3]과 같은 방법에 의해 누설 전류 특성을 개선하려는 노력이 있었는데 MILC TFT에서는 니켈을 형성할 때 소오스, 드레인 접합경계 부위에서 니켈을 offset 증착시킴으로써 누설전류의 원인이 되는 금속 오염을 배제시켜 높은 동작 전압에서의 고 누설전류를 억제시키는 데 효과적이라는 보고가 있다.^[4]

기존의 MILC에 의한 결정화 양상은 순수한 비정질 실리콘의 결정화 양상에 중점을 두어 연구되어져 왔는데 반하여 Ni-offset의 경우 Ni에 의한 MILC가 도핑되어 있는 비정질 실리콘 영역을 결정화하는 과정이 수반되는데 이런 경우의 결정화 속도와 양상에 대한 기초적인 이해가 부족한 실정이다. 또한 Poly-Si의 응용 중에 CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor)와 같은 경우에도 p형 또는 n형으로 도핑되어 있는 비정질 실리콘을 결정화 시켜야 하는데 역시 비정질 실리콘의 도핑도와 MILC와의 상관관계의 이해가 필요하다.

본 연구에서는 이온 질량 주입된 비정질 실리콘 박막에서의 MILC 속도와 양상을 고찰하고자 하였다. 이온질량 주입량, 에너지, 그리고 주입되는 도펀트의 종류를 변화시켜서 비정질 실리콘의 MILC에 의한 결정화 양상을 관찰하였다.

II. 실험 방법

코닝 유리(1737) 기판 위에 플라즈마 화학 기상 증착법에 의해 기판온도 250°C, 사용 가스 SiH₄의 조건으로 1000Å 두께의 비정질 실리콘 박막을 형성하였다. 사진 감광제 패턴을 형성하고 니켈 박막을 약 20Å 두께로 증착한 후 사진 감광제를 제거하는 lift-off 방법을 사용하여 그림 1(a)와 같은 니켈 패턴을 형성하였다. 이온 질량 주입 장치로 RF 전력 200W에 의한 플라즈마와 DC 가속 전압 18kV를 인가하는 장치를 이용하였다.^[5] 소스 가스로는 수소에 희석된 5% PH₃과, 고순도의 수소, 아르곤등을 이용하였다. 도핑영역을 선택적으로 제어하기 위해서는 그림 1(b)와 같은 구조로 플라즈

마 화학 기상 증착법에 의해 1000Å 두께의 실리콘 산화막을 형성하고 사진 식각 방법에 의해 실리콘 산화막 island를 형성함으로써 비정질 실리콘에 부분적으로 이온 질량 주입이 되지 않도록 하였다. 결정화 열처리 는 3영역 온도 조절 노를 이용하여 500°C의 질소 분위기에서 행하였다. 광학 현미경을 이용하여 결정화 거리를 관찰하였으며 실리콘 박막의 표면 분석을 위하여 자외선/가시광선 (UV/VIS) 반사도 측정 장치와 원자력 현미경(Atomic Force Microscope)를 이용하였다.

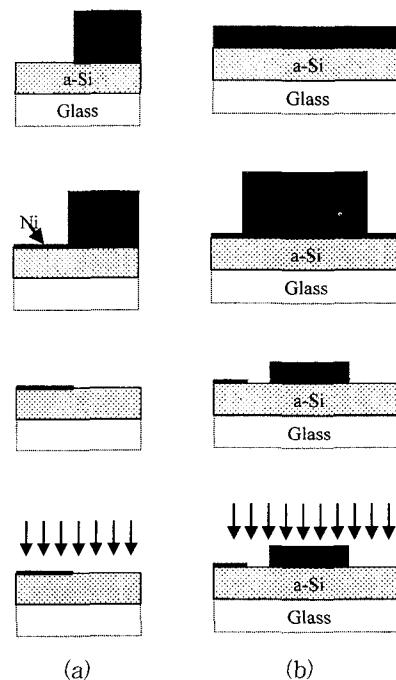


그림 1. (a)이온 질량 도핑된 비정질 실리콘박막에서의 금속 유도 측면결정화 양상을 관찰하기 위한 시편의 구조. (b) 실리콘 산화막을 도핑 마스크로 사용하여 도핑된 영역과 도핑 되지 않은 영역을 선택적으로 형성

Fig. 1. (a)Specimen structure for the investigation of MILC behavior in ion doped amorphous silicon thin film. (b) Selective formation of doped region and un-doped region using silicon oxide as a doping mask.

III. 실험 결과 및 토의

그림 1(a)에 의한 방법으로 제작된 시편을 500°C, 40 시간동안 열처리 한 경우를 그림 2에 나타내었다. IMD doping을 하지 않은 경우(그림 2(a))는 MILC에 의해

측면으로 결정화된 길이가 70 μm 로 시간당 약 1.7 μm 의 성장 속도를 보였고 결정화된 영역과 비정질 실리콘과의 경계면은 매끄러운 경계를 보였는데 이는 보고된 연구^[6]와 일치하는 것이었다. 그러나, IMD로 PH₃ 가스를 전면에서 doping한 시편을 그림 1(a)와 동일한 조건에서 열처리한 경우에는 MILC 에 의해 결정화된 영역과 비정질 실리콘과의 경계면이 매끄럽지 않았으며 결정화된 길이가 매우 짧았다.(그림 2(b))

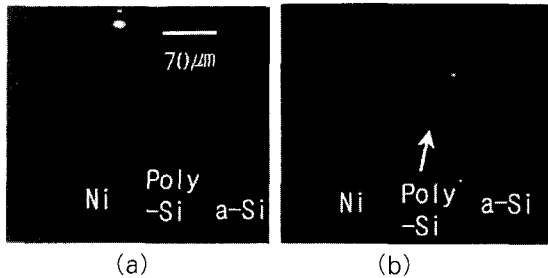


그림 2. 도핑되지 않은 비정질 실리콘 박막의 MILC 현미경 사진(a)과 도핑된 비정질 실리콘 박막의 MILC 현미경 사진(b)

Fig. 2. (a)Microscope image of MILC in un-doped amorphous silicon thin film (b)Microscope image of MILC in doped amorphous silicon thin film.

이온질량 주입 시간에 따른 MILC 길이를 그림 3에 나타내었다. RF 전력 200W, 가속전압 DC 18kV에서 10초 정도의 짧은 이온주입에 의해서도 결정화 속도가 현저히 감소하였다. IMD 시간을 180초로 하였을 경우에는 500 $^{\circ}\text{C}$ 에서 35시간의 열처리에 의해 불과 8 μm 정도의 결정화가 진행되어 0.2 $\mu\text{m}/\text{h}$ 의 성장 속도를 보이고 이는 이온 주입하지 않은 경우에 비해 무려 1/8 정도의 느린 속도이다. PH₃ 이온질량 주입 시간을 달리한 시편을 500 $^{\circ}\text{C}$ 에서 15시간 열처리했을 때 결정화 거리를 그림 4에 나타내었다. 10초 정도의 짧은 이온 질량 주입에 의해 급격한 결정화 속도 감소를 관찰 할 수 있었고 그 이상의 이온 주입에 의해서도 점차적인 속도 감소를 관찰 할 수 있다. 이온 질량 주입되는 가스의 종류와는 무관하게 결정화 속도 감소를 관찰 할 수 있었는데 이 결과를 그림 5에 나타내었다. PH₃ 이외에 H₂와 Ar을 60초 동안 이온 질량 주입하였다. Ar 과 H₂에 의해 이온 질량 주입된 시편의 결정화 속도는 PH₃ 가스를 이온질량 주입한 경우의 결정화 속도에 비해 약간 빠르기는 하였지만 역시 이온 질량 주입되지 않

은 시편의 경우에 비해서 현저한 결정화 속도 감소를 보여주고 있다. Ar과 H₂는 이온 주입시켜도 500 $^{\circ}\text{C}$ 이상의 높은 온도에서는 모두 실리콘 박막으로부터 제거되어 실리콘 박막내부에는 남아있지 않다.^{[7][8]} 이로부터 PH₃에 의한 도핑 시에 MILC 성장속도가 감소하는 것은 비정질 실리콘 박막 내에 도펀트로 주입된 P등의 불순물이 MILC 성장을 방해하는 것은 아님을 알 수 있다. 이렇게 이온 질량 주입된 실리콘 박막영역을 결정화시킬 때 매끄럽지 못한 경계와 느려진 성장속도를 보였으나 다시 이온질량 주입되지 않은 영역, 즉 그림 6의 B 부분을 결정화시킬 때는 다시 비정질 실리콘과의 경계가 매끄러우면서도 성장속도가 1.7 $\mu\text{m}/\text{시간}$ 으로 회복된다. 또한 재차 이온 주입된 비정질 실리콘 박막 쪽으로 결정화가 진행되면 매끄럽지 않은 경계와 느려진 MILC 속도를 나타낸다. MILC 성장기구는 비정질 실리콘과 표면에 형성시킨 Ni과 반응하여 두께가 약 50Å인 NiSi₂가 형성되고 이 NiSi₂가 촉매 역할을 하면서 비정질 실리콘 쪽으로 전진하면서 뒤편에 결정화된 실리콘을 남기게 된다고 보고되었다.^[9] 따라서 MILC 성장속도는 NiSi₂의 전진 속도에 의해 결정되므로 결정화 속도가 느려지는 것은 NiSi₂의 전진 속도가 느려진 것을 의미한다. NiSi₂가 비정질 실리콘 쪽으로 전진하는 속도는 NiSi₂ 입자와 결정화된 실리콘과의 계면에서의 반응속도와 NiSi₂ 입자와 비정질 실리콘과의 계면 반응 속도에 의해 좌우된다. 이온 질량 주입된 부분으로 NiSi₂가 전진하면서 비정질 실리콘을 결정화할 때, 이온 주입되지 않은 경우와 비교하여 변화된 부분은 NiSi₂ 입자와 비정질 실리콘과의 계면 상태이다. 따라

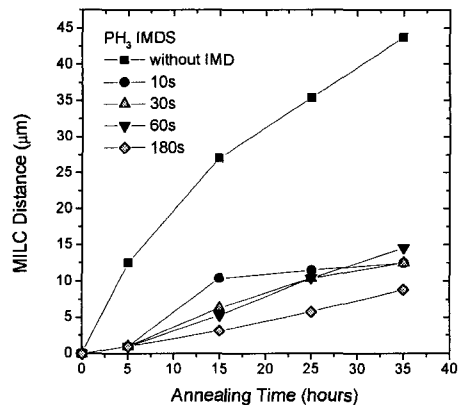


그림 3. Phosphorous 도핑시간이 MILC 속도에 미치는 영향

Fig. 3. Effect of phosphorus doping time on MILC velocity.

서, 이온 질량 주입시 비정질 실리콘 내부에 결함을 유발시켜 NiSi_2 와 비정질 실리콘과의 계면 반응을 억제시키면 NiSi_2 의 전진 속도를 감소시킬 수 있다. 비정질 실리콘 자체가 일정한 격자를 이루지 않고 많은 결함을 내포하고 있는 구조이기는 하지만 H_2 , Ar과 같은 가스를 이온 질량 주입할 경우에는 열처리 시 주입되었던 H_2 , Ar 등이 실리콘 박막 외부로 제거되면서 많은 void를 형성하며^[8] 이 void에 NiSi_2 이 만나게 되면 NiSi_2 와 비정질 실리콘 계면에서 반응하는 면적이 감소하게 되므로 반응속도가 느려질 것으로 예상된다.

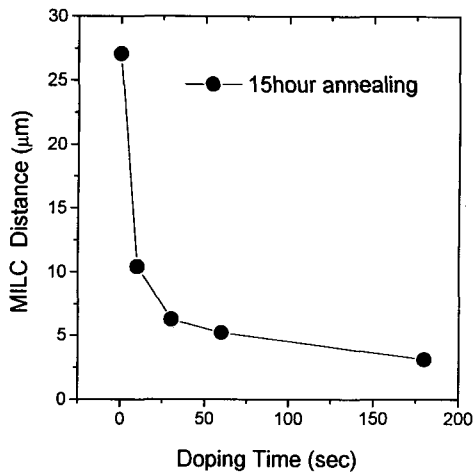


그림 4. 15시간 열처리 경우 도핑시간과 MILC 된 거리의 상관 관계
 Fig. 4. MILC distance versus doping time after 15hrs annealing.

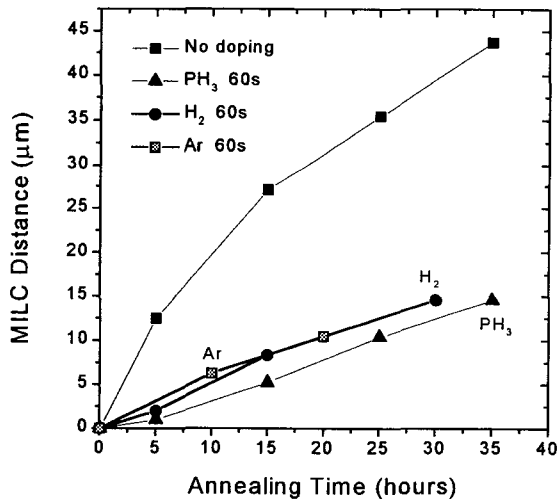


그림 5. 도펀트 종류가 MILC 에 미치는 영향
 Fig. 5. Effect of different of dopant on MILC distance.

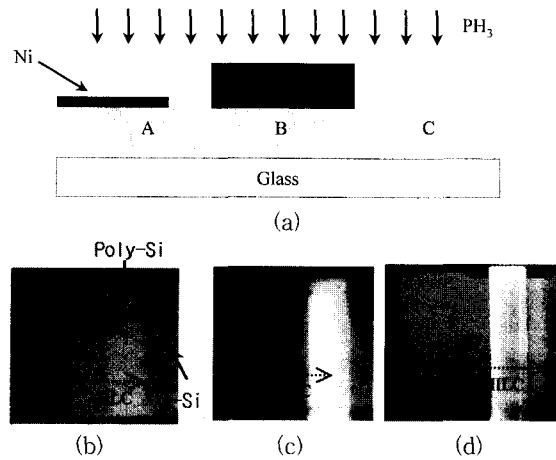
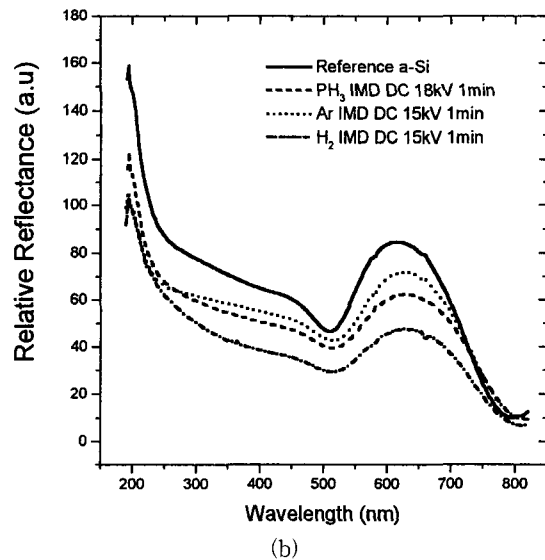


그림 6. (a)도핑된 영역과 도핑 되지 않은 영역에서의 순차적 MILC 비교를 위한 시편 구조 (b)A 영역과 같이 도핑된 영역에서의 MILC 는 불규칙한 모양을 나타낸다. (c)B 영역과 같이 도핑되지 않은 비정질 실리콘으로 MILC가 진행된다면 다시 균일한 성장속도를 보인다.(d) MILC 선단이 다시 도핑된 영역으로 진행된다면 불규칙한 모양을 나타낸다

Fig. 6. (a) Sequential MILC behavior in doped region 'A', undoped region 'B' and doped region 'C'. (b) Front edge of MILC in region 'A' is uneven (c) Front edge of MILC becomes even when it proceeds into the undoped region 'B'. (d) it becomes uneven again in the doped region 'C'



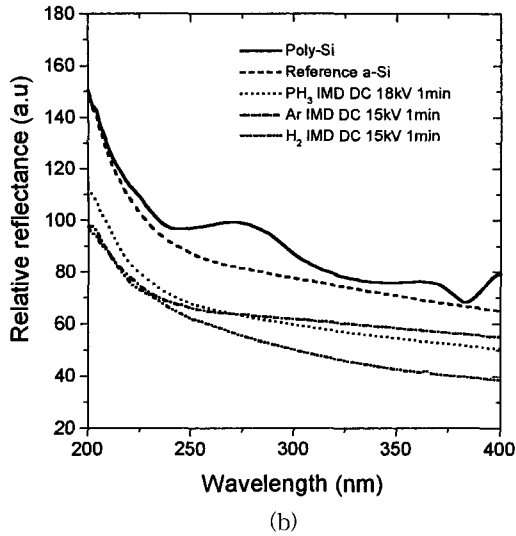


그림 7. (a)비정질 실리콘에서 이온 주입이 UV/VIS 반사도에 미치는 영향 (b) MILC에 의해 결정화된 실리콘에서 이온주입이 UV 반사도에 미치는 영향(결정질 실리콘은 약 275nm와 365nm를 중심으로 피크가 나타남.)

Fig. 7. (a)Effect of ion mass doping on the UV/VIS reflectance of amorphous silicon (b)Effect of ion mass doping on the UV reflectance of silicon crystallized by MILC (Crystalline silicon shows peak of reflectance at 275nm and 365nm).

실리콘 박막에 이온질량 주입했을 때의 물성 변화를 자외선/가시광선 반사도 (UV/VIS Reflectance)를 통해 관찰하여 그 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)에는 이온 주입되지 않은 비정질 실리콘과 Ar 과 H₂ 로 이온 주입한 비정질 실리콘의 UV/VIS 결과를 나타내었는데 Peak의 변화는 보이지 않고 다만 반사되는 양이 줄어들 뿐이었다. AFM 측정결과 이온주입전 비정질 실리콘의 RMS 표면 거칠기는 약 19.0Å이고 이온 주입 후에는 22.6Å으로 증가한 것으로 나타난 것으로 부터 UV/VIS 측정시 반사되는 양이 줄어든 것은 표면 거칠기의 증가에 기인한 것으로 평가되었다.

이온 질량 주입의 효과를 확인하기 위하여 결정화된 실리콘 박막에 Ar, H₂로 이온 질량 주입 후 UV/VIS 측정한 결과를 그림 7(b)에 나타내었다. 비정질 실리콘 박막을 900℃ 3분 동안 할로젠 램프 RTA 로 결정화시키면 275nm, 365nm에서 결정질 실리콘 Peak를 관찰 할 수 있었고 이 결정화된 실리콘 박막에 이온을 주입하면 소스 가스의 종류에 관계없이 가속 전압 18kV에서

1분의 이온 질량 주입에 의해 결정질 실리콘 Peak 가 모두 사라져 비정질 실리콘과 동일한 양상을 보였다. 반사도의 감소는 역시 표면의 거칠기에 기인한 것이다. Ion Implantation으로 단결정 실리콘 웨이퍼에 Ar을 implantation할 경우 $3\sim 5 \times 10^{14}/\text{cm}^2$ dose 량을 30 keV 의 에너지로 가속하면 비정질화 된다는 보고^[10]와 비교 하여 볼 때 이온 질량 주입에서 아주 낮은 가속 전압으로도 결정질 실리콘이 비정질화 된다는 것을 알 수 있었다. 결정질 실리콘 박막이 비정질화되는 조건으로 비정질 실리콘 박막에 이온 질량 주입하면 비정질 실리콘 상태가 매우 달라질 것이라는 것을 알 수 있다. Ar 이나 H₂로 이온 질량 주입할 경우 실리콘 박막내부에 Ar 이나 H₂가 분자, 또는 원자 상태로 비정질 실리콘에 주입될 수 있고 PH₃를 이온 질량 주입할 경우에도 희석가스로 사용된 H₂의 양이 95%이므로 대부분 이온질량 주입되는 원소는 수소로 생각된다. 따라서, 이러한 결정질 실리콘 박막을 비정질화 시킬 정도의 아르곤 수소 분자, 또는 원자는 비정질 실리콘 내부에 존재하면서 결정화 열처리시 실리콘 박막 내부에서 아르곤 또는 수소끼리 응집하여 비교적 커다란 Void를 형성하고 이로 인해 NiSi₂의 진행 속도가 느려지는 것으로 생각되며 이에 대한 정확한 분석을 진행 중에 있다.

IV. 결 론

Ni-MILC는 500℃의 노 열처리를 통해 intrinsic 비정질 실리콘에서 약 1.7μm/h의 결정화 속도를 나타내었는데 비정질 실리콘에 PH₃, H₂, Ar 등의 가스로 18kV 정도의 낮은 가속 전압에서 이온 질량 주입한 후 결정화시키면 MILC 속도가 0.7~0.15μm/h로 현저히 감소하였다. 이온주입하지 않았을 때 평탄한 모양을 보이던 비정질 실리콘과 MILC로 결정화된 실리콘의 계면도 매우 거친 모양으로 변하였다. 이렇게 성장한 후 결정화 선단이 이온 질량 주입되지 않은 영역으로 진행되면서 다시 1.7μm/h의 결정화 속도가 회복되면서 경계면도 평탄한 모습으로 바뀌었다. 수소로 희석된 PH₃, 아르곤 또는 수소가스 모두 동일한 결정화 양상을 보이는 것으로부터 비정질 실리콘에 주입된 도펀트에 의한 영향 보다는 실리콘 내의 Void 생성과 표면 거칠기 변화 등에 의해 결정화 속도가 저하된다는 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Seok-Woon Lee, and Seung-Ki Joo, "Low temperature Poly-Si Thin-Film Transistor fabrication by metal-induced lateral Crystallization.", IEEE Electron Device Lett., Vol 17, No. 4, pp.160-162, 1996.
- [2] K. Nakazawa, K. Tanaka, S. Suyama, K. Kato, and S. Kohda, "Lightly Doped Drain TFT Structure for Poly-Si LCDs" SID Digest, p.311, 1990.
- [3] J. Kanicki and M. K. Hatalis, "A simple polysilicon thin film transistor structure for achieving high on/off current ratio independent of gate bias", Extended Abstr. 1992 Conf. Solid State Device and Materials, p. 52.
- [4] Tae-Hyung Ihn, Tae-Kyung Kim, Byung-Il Lee and Seung-Ki Joo, "A Study on the leakage current of poly-Si TFTs fabricated by metal-induced lateral crystallization", Microelectronics Reliability, vol. 39, pp 53-58, 1999.
- [5] 김진호, 주승기, 최덕균, "실리콘 박막에서 이온 질량 도핑에 의해 주입된 인의 전기적 활성화에 관한 연구", 대한전자공학회지, 32권, A편 1호 p.179, 1995
- [6] Seok-Woon Lee, Tae-Hyung Ihn, and Seung-Ki Joo, "Fabrication of High-Mobility p-channel Poly-Si Thin Film Transistor by Self-Aligned Metal-Induced Lateral Crystallization", IEEE EDL, Vol. 17, No.8, p.407, 1996.
- [7] A. Yoshida, K. Setsune, and T. Harao, "Phosphorus doping for hydrogenated amorphous silicon films by a low-energy ion doping technique", Appl. Phys. Lett. Vol 51 (4), 27 1987.
- [8] D. P. Gosain, J. Westwater, and S. Usui, "Excimer laser crystallization and Doping of a-Si films sputtered below 100°C", AM-LCD 97, p.51, 1997.
- [9] Zhonghe Jin, Gururaj A. Bhat, Milton Yeung, Hoi S. Kwok, and Man Wong, "Nickel induced crystallization of amorphous silicon thin film", J. Appl. Phys. vol 84, No. 1, 194, 1998.
- [10] F.F. Morehead, Jr. and B. L. Crowder. "A model for the formation of amorphous Si by ion bombardment", Radiation effects, vol. 6, p.30, 1970.

저 자 소 개

金兌旣(正會員) 第35卷 D編 第5號 參照
1971년 3월 31일생. 1995년 서울대학교 금속공학과 졸업(공학사). 1997년 서울대학교 금속공학과(전자재료) 공학석사 학위 취득. 2000년 서울대학교 재료공학부(전자재료) 공학박사 학위 취득. 주관심 분야는 poly-Si TFT, 반도체 제조 공정, 전자박막재료 등임.



尹汝健(正會員)
1975년 5월 10일생. 1998년 서울대학교 금속공학과 졸업(공학사). 2000년 서울대학교 재료공학부(전자재료) 석사학위 취득, 현재 서울대학교 재료공학부 박사과정 재학중. 주관심분야는 poly-Si TFT 및 반도체 제조공정, 박막재료등임.

李炳一(正會員) 第33卷 A編 第9號 參照

金奇範(正會員) 第36卷 D編 第1號 參照
1975년 2월 8일생. 1997년 서울대학교 금속공학과 졸업(공학사). 1999년 서울대학교 재료공학부(전자재료) 석사학위 취득, 현재 서울대학교 재료공학부 박사과정 재학중. 주관심분야는 poly-si TFT 및 구동소자, 반도체 제조 공정 등임

金昶勳(正會員)
1973년 10월 5일생. 1998년 서울대학교 금속공학과 졸업(공학사). 2000년 서울대학교 재료공학부(전자재료) 석사학위 취득, 현재 삼성 SDI Color filter 사업팀 근무중. 주관심분야는 a-Si TFT, poly-Si TFT. 박막재료임

朱承基(正會員) 第31卷 A編 第11號 參照