

금속 유도 엑시머 레이저 어닐링을 이용한 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 제작

함상면, 박기찬, 이재훈, 함민구
 서울대학교 전기컴퓨터공학부

Poly-Si TFT's Fabricated by Metal Induced Excimer Laser Annealing

S.M.Han, K.C.Park, J.H.Lee, M.K.Han
 School of Electrical Engineering & Computer Science, Seoul National University, Seoul 151-7.

Abstract - 금속유도 측면 결정화 (Metal Induced Lateral Crystallization; MILC)를 통하여 형성한 다결정 실리콘 박막에 엑시머 (excimer) 레이저를 조사하여 우수한 특성을 갖는 박막 트랜지스터를 제작하였다. MILC 공정 중에 형성되는 금속 유도 결정화 (Metal Induced Crystallization; MIC) 실리콘 박막은 다량의 Ni을 함유하고 있기 때문에, 이에 인접한 MILC 실리콘 박막 내에는 니켈 농도의 점진적인 차이가 발생한다. MILC 다결정 실리콘 박막 내의 Ni 농도 차이는 실리콘 박막의 용융점 차이를 유발하여 레이저 결정화 시에 매우 큰 실리콘 결정립의 성장을 유도한다. 새로운 다결정 실리콘 박막 트랜지스터는 기존의 레이저 결정화 방식으로 제작한 다결정 실리콘 박막 트랜지스터에 비하여 40% 향상된 전계효과 이동도를 나타내었다.

1. 서 론

500°C 이하의 저온에서 증착한 비정질 실리콘 (amorphous silicon; a-Si) 박막을 재결정화하여 제작한 다결정 실리콘 박막 트랜지스터 (polycrystalline silicon thin film transistor; poly-Si TFT)는 최근 SLS (sequential lateral solidification)와 같은 새로운 결정화 방법 등을 이용하여 실리콘 웨이퍼 상의 금속 산화막 반도체 전계효과 트랜지스터 (metal oxide semiconductor field effect transistor; MOSFET)에 근접하는 우수한 전기적 특성을 나타내고 있다 [1,2,3,4]. 그러나 이러한 새로운 방법은 과도한 레이저 조사 횟수와 고가의 복잡한 설비 및 정밀한 공정 제어가 요구된다.

본 논문에서는 금속 유도 수평 결정화 (metal induced lateral crystallization; MILC)와 엑시머 레이저 어닐링 (Excimer Laser Annealing; ELA)을 조합해서 고품질의 다결정 실리콘 막을 제작하는 새로운 방법을 제안한다. 단순한 MILC와 ELA의 조합은 이미 보고된 바가 있으나, 본 연구에서는 MILC 다결정 실리콘 박막 내의 니켈 (Ni) 농도 차이를 이용하여 ELA 시, 결정립 성장을 촉진함으로써 우수한 전기적 특성을 갖는 다결정 실리콘 박막을 제작하였다 [8]. 이러한 새로운 레이저 결정화 방법 (MI-ELA, metal induced excimer laser annealing)으로 제작한 다결정 실리콘 박막 트랜지스터는 기존의 ELA 다결정 실리콘 박막 트랜지스터에 비하여 크게 개선된 특성을 나타낸다.

2. 본 론

2.1 실험

표면에 1μm 두께의 산화막을 성장시킨 실리콘 웨이퍼 상에 저압 화학 기상 증착 (low-pressure chemical vapor deposition; LPCVD)으로 550°C에서 700Å 두께의 비정질 실리콘 박막을 증착하였다. 비정질 실리콘 박막

위에 전자-총 증기 증착법 (electron-gun evaporation)으로 50Å 두께의 니켈 박막을 증착하였고, lift-off 방법으로 패턴을 형성하였다. 그 후 고온로 (furnace)를 이용하여 500°C에서 MILC 방법으로 비정질 실리콘 막을 결정화하였다. MILC 과정에서 많은 양의 니켈이 니켈 박막 하부의 금속 유도 결정화 (metal induced crystallized; MIC) 다결정 실리콘 박막에 흡수된다 [5]. 이어서 니켈 원자들은 MILC 다결정 실리콘 영역으로 수평 확산된다. MILC 다결정 실리콘 영역 내에는 매우 적은 양의 니켈이 존재하지만, 니켈 함량이 풍부한 MIC 다결정 실리콘 영역 근처에서는 MILC 다결정 실리콘 박막 내의 니켈 농도가 증가한다 [7]. 즉, MIC 다결정 실리콘 박막 근처의 MILC 다결정 실리콘에는 점진적인 니켈 농도 차이가 존재하여 용융점 차이가 발생한다 [6]. 그 후 XeCl 엑시머 레이저 (λ=308nm)를 MILC/MIC 다결정 실리콘 박막에 1회 조사한 후, 투과 전자 현미경 (transmission electron microscopy; TEM)을 이용하여 결정립 성장을 관찰하였다. ELA시, 레이저 에너지 세기는 270mJ/cm² 부터 410mJ/cm²까지 변화시켰다. 그림 1은 MI-ELA 방법의 단면 모식도이다. MI-ELA 다결정 실리콘 박막을 이용하여 박막 트랜지스터를 제작하였고 최적의 레이저 에너지 세기로 엑시머 레이저를 10회 조사하여 제작한 기존의 ELA 다결정 실리콘 박막 트랜지스터 및 MILC 다결정 실리콘 박막 트랜지스터와 전기적인 특성을 비교하였다.

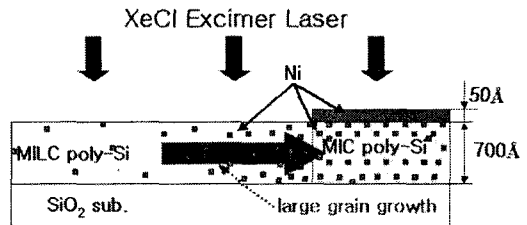


그림 1 MI-ELA 방법의 단면 박막 구조. 레이저빔 조사에 의해서 니켈함량이 많은 MIC 다결정 실리콘 근처의 MILC 다결정 실리콘에서 매우 큰 다결정 실리콘 결정립이 성장한다.

2.2 결과 및 토의

그림 2는 레이저 에너지 세기 변화에 따른 MI-ELA 다결정 실리콘 박막의 TEM 사진이다. MIC 다결정 실리콘 근처의 MILC 다결정 실리콘 영역에서 매우 큰 다결정 실리콘 결정립이 성장하였다. 레이저 조사시, MIC 다결정 실리콘과 MIC 다결정 실리콘에 인접한 MILC 다결정 실리콘은 니켈 함량이 높아서 용융점이 낮기 때문에 370mJ/cm² 이하의 낮은 레이저 조사 에너지에도 완전히 용융된다. 반면에 MILC/MIC 다결정 실리콘의 경계로부터 먼 MILC 다결정 실리콘 박막은 니켈 함량

이 낮아서 $370\text{mJ}/\text{cm}^2$ 이하의 레이저 조사 에너지에는 완전히 용융되지 않는다. 따라서 MILC/MIC 경계로부터 먼 고체 상태의 MILC 다결정 실리콘으로부터 결정화가 시작되어 결정립은 MILC/MIC 경계 쪽으로 성장한다. 레이저 에너지 세기가 $370\text{mJ}/\text{cm}^2$ 이하인 경우에는 레이저 조사 에너지 증가와 더불어 결정립 크기가 증가하며, 레이저 에너지 세기가 그 이상으로 증가할 경우에는 결정립의 크기는 오히려 감소한다.

레이저 조사 에너지가 증가하면 니켈의 함량이 적어서 용융점이 높은 MILC 다결정 실리콘 박막이 MIC/MILC 경계로부터 멀리 떨어진 영역까지 용융되기 때문에 결정립의 크기가 커진다. 레이저 조사 에너지가 $370\text{mJ}/\text{cm}^2$ 이상인 경우에는 니켈 함량이 낮은 MILC 다결정 실리콘 박막도 완전히 용융되어 재결정화를 위한 결정핵이 존재하지 않는 과냉각 상태가 되기 때문에 결정립의 크기는 감소한다. 최적의 레이저 어닐링 조건에서 결정립은 $2\mu\text{m}$ 길이까지 성장한다.

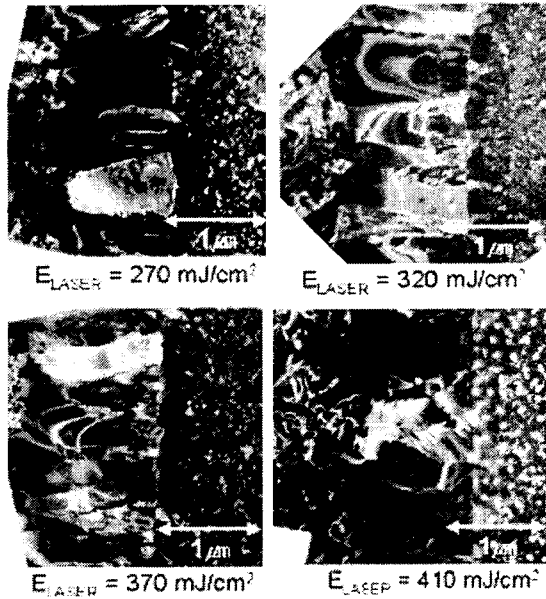


그림 2 레이저 에너지 세기 변화에 따른 MI-ELA 다결정 실리콘 박막의 평면 TEM 사진.

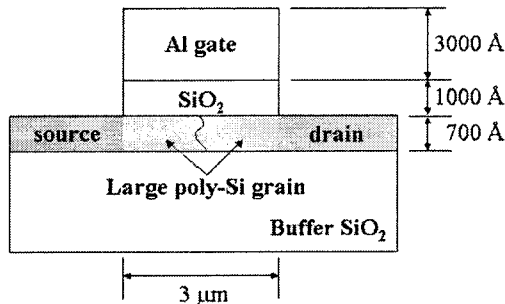


그림 3 MI-ELA 방법으로 제작한 소자의 단면도.

그림 3은 MI-ELA 방법을 이용하여 제작한 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 단면 구조이다. MI-ELA 방법을 이용하여 박막 트랜지스터 채널 내에 매우 큰 다결정 실리콘 결정립을 형성하였다. 제안된 MI-ELA 방법에 의

해서 성장할 수 있는 결정립의 길이가 $1.5\mu\text{m}$ 내외이므로 채널 길이는 2개의 결정립이 맞닿을 수 있는 길이인 $3\mu\text{m}$ 로 설계하였다.

그림 4는 MI-ELA 다결정 실리콘 박막 트랜지스터와 기존의 ELA 및 MILC 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 I_D - V_G 전달 특성이다. MI-ELA 다결정 실리콘 박막 트랜지스터는 ELA 다결정 실리콘 박막 트랜지스터보다 결정립의 크기가 커서 채널 영역에 결정립 경계의 수가 적기 때문에 도통전류가 크다. MI-ELA 박막 트랜지스터의 전계효과 이동도(μ_{FE})는 $208.3\text{cm}^2/\text{Vs}$ 으로 동시에 제작한 ELA 다결정 실리콘 박막 트랜지스터($141.9\text{cm}^2/\text{Vs}$)와 비교하여 40% 이상 향상되었다. 그러나 니켈 불순물의 영향으로 MI-ELA 다결정 실리콘은 ELA 다결정 실리콘보다 누설전류가 다소 크다. 제작한 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 특성 변수를 표 1에 비교하여 정리하였다.

MI-ELA 다결정 실리콘 박막 트랜지스터는 그림 5에 나타나는 것처럼 매우 넓은 ELA 공정 편차에 대해서 균일한 특성을 나타낸다. 레이저 에너지 세기가 $270\text{mJ}/\text{cm}^2$ 에서 $335\text{mJ}/\text{cm}^2$ 까지 변할 때 평균 전계 효과 이동도의 편차는 $10.7\text{mJ}/\text{cm}^2$ 이었으며, 문턱 전압의 표준 편차는 0.36V 이었다. MI-ELA 방식은 레이저 에너지 세기 변화에 상관없이 결정립이 크게 성장하므로 균일한 다결정 실리콘 박막 트랜지스터 특성을 구현할 수 있다.

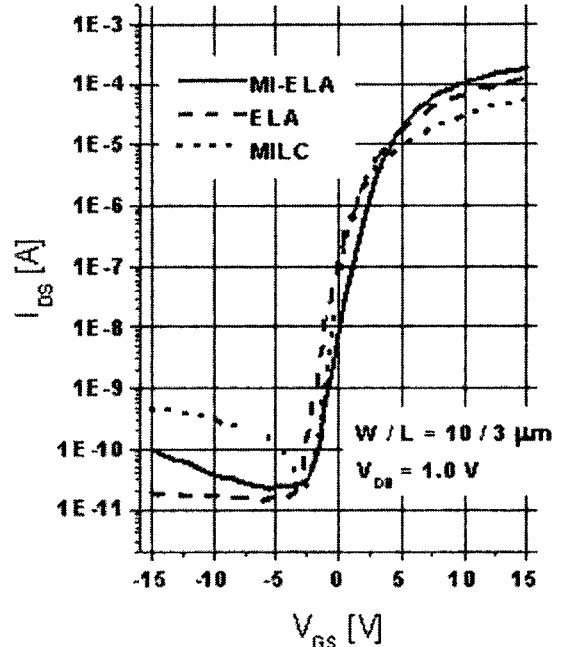


그림 4 MI-ELA와 ELA 및 MILC 다결정 실리콘 TFT의 I_D - V_G 전달 특성. $W_{\text{channel}}/L_{\text{channel}} = 10/3\mu\text{m}$, $V_{DS}=1.0\text{V}$.

표. 1 제작된 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 특성 변수

	MI-ELA	ELA	MILC
$\mu_{FE}(\text{cm}^2/\text{Vs})$	208.3	141.9	73.7
S(V/dec)	0.76	0.72	0.63

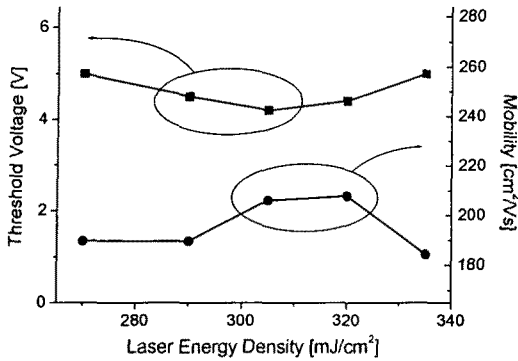


그림 5 레이저 에너지 세기에 따른 MI-ELA 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 문턱 전압(V_{TH})과 전계효과 이동도(μ_{FE})의 변화. 레이저 에너지 세기 변화에 크게 영향을 받지 않는 균일한 특성이 나타난다.

3. 결 론

MILC 다결정 실리콘 박막 내의 점진적인 니켈 농도 차이를 이용해서 큰 수평 결정립 성장을 유도하는 새로운 엑시머 레이저 어닐링 방식(MI-ELA)을 사용하여 다결정 실리콘 박막 트랜지스터를 제작하였다. 새로운 다결정 실리콘 박막 트랜지스터는 채널 내에 매우 큰 다결정 실리콘 결정립이 존재하여 결정립 경계의 수가 적기 때문에 매우 향상된 μ_{FE} 를 가진다. 또한 기존의 엑시머 레이저 결정화 방식에서는 수십 회의 레이저 빔을 조사해야 하는 반면, 제안된 MI-ELA 방법은 한 번의 레이저 조사로 이루어지며, 기존의 방법에 비하여 매우 넓은 공정 조건 편차를 허용한다

(참 고 문 헌)

- [1] M.A. Crowder, P.G. Carey, P.M. Smith, R.S. Sposili, H.S. Cho, J.S. Im, IEEE Elec. Dev. Lett., 19, pp.306-308, 1998
- [2] j.Im, Mater. Res. Soc. Symp. Proc. 86 (2000)
- [3] C.H. Oh and M. Matsumura, International Workshop on AMLCDs, 255 (1999)
- [4] J.S. Im, H.J. Kim and M.O. Thompson, Appl. Phys. Lett. 63, 1969 (1993)
- [5] Z. Jin, G.A. Bhat, M. Yeung, H.S. Kwok and M. Wong, J. Appl Phys., 84, 194(1998)
- [6] s.W. Lee and S.K. Joo, IEEE Electron Device Lett. 17, 160(1996)
- [7] M. Wong, Z. Jin, G.A. Bhat, P.C. Wong and H.S. Kwok, IEEE Trans. Electron Devices, 47, 1061 (2000)
- [8] D. Murley, N. Young, M. Trainor, D. McCulloch, IEEE Trans. Elec. Dev., 48, pp.1145-1151, 2001