

PSG와 BSG를 이용한 저온 레이저 도핑 방법에 대한 연구

남우진, 김천홍, 정상훈, 전재홍, 한민구
서울대학교 전기공학부

Low Temperature Laser-Doping Process Using PSG and BSG Film for Poly-Si TFTs

Woo-Jin Nam, Cheon-Hong Kim, Sang-Hoon Jung, Jae-Hong Jeon and Min-Koo Han
School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract - 본 연구에서는 다결정 실리콘 박막 트랜지스터(poly-Si TFTs)에서의 소오스 및 드레인 영역 형성을 위해 PSG (phosphosilicate glass)와 BSG (borosilicate glass) 박막을 도핑 물질(dopant)로 하여 저온에서 엑시머 레이저(eximer laser)로 활성화하는 공정을 제안한다. 이 실험을 통해 소스 가스인 PH₃ 와 SiH₄의 유량비, 레이저 에너지 밀도와 레이저 조사 횟수를 변화시키면서 면저항(sheet resistance)과 불순물의 확산 깊이(diffusion depth)를 성공적으로 조절하였다. 불순물의 확산 깊이와 표면 농도는 레이저 에너지 밀도와 조사 횟수를 증가시킴에 따라 증가하였으며 그 결과 최소 면저항 값은 인(P)의 경우 450Ω/□을 얻었고 봉소(B)의 경우 1100Ω/□을 얻었다. 이러한 실험 결과는 제안된 방법을 통해 poly-Si TFTs에서 소오스, 드레인 영역의 도핑 공정을 수행할 수 있음을 보여 준다.

1. 서 론

고품질의 능동행렬 액정 표시 소자(AMLCDs, active matrix liquid crystal displays)로서 엑시머 레이저 어닐링을 이용한 다결정 실리콘 박막 트랜지스터 (polycrystalline silicon thin film transistor : poly-Si TFTs)가 커다란 관심을 끌고 있다[1]. 하지만 레이저 어닐링으로 좋은 품질의 다결정 실리콘 박막을 얻을 수 있으나 저온에서의 소오스와 드레인 영역의 도핑 방법은 아직 제대로 확립되어 있지 않다. 현재 일반적으로 쓰이는 이온 주입(ion implantation)이나 이온 사워(ion shower)를 이용한 도핑 방법은 고가의 복잡한 장비가 필요할 뿐만 아니라 불순물 활성화와 이온 주입에 의한 박막의 손상을 치료하기 위한 후속 어닐링(post-annealing) 과정이 요구되는 단점을 가지고 있다.

이에 반해 가스 형태의 불순물을 포함한 박막을 이용한 엑시머 레이저 도핑은 그 방법이 단순하고 저온에서도 공정이 가능하기 때문에 유용하다고 할 수 있다[2-5]. 이 경우 엑시머 레이저는 비정질 실리콘 (amorphous silicon : a-Si) 박막을 녹이며 이러한 액체 상태의 박막에 대해 불순물의 확산계수(diffusion coefficient)가 증가함으로 도핑된 다결정 실리콘 박막 형성이 용이해진다. 그런데 가스 형태의 불순물을 이용할 경우 좀더 복잡하고 정교한 가스 햄버와 재어 장치가 요구되며[4,5] 더욱이 이 경우에는 불순물의 양이 레이저 조사 이전과 조사시에 박막에 흡착되는 불순물 가스 양에 의해 주로 결정되기 때문에 면저항(sheet resistance)과 접합 깊이(junction depth)를 정확히 조절하기가 어렵다[5].

이 연구에서는 인(P)과 봉소(B) 불순물을 포함하는 PSG(phosphosilicate glass)와 BSG(borosilicate glass) 박막을 도핑 물질로 하여 저온에서 레이저 도핑하는 간단한 방법을 소개하고자 한다. PSG 및 BSG 박막은 화학기상증착(chemical vapor deposition,

CVD)으로 증착하는데, 이 방법은 일반적인 poly-Si TFTs 공정에 응용이 가능하며 또한 균일하고 재현성 있는 박막을 얻기가 쉽다. 본 논문에서는 PSG 박막 증착 시의 PH₃/SiH₄ 가스 유량비와 레이저 에너지 밀도 그리고 레이저 조사 횟수를 변화시키면서 도핑된 poly-Si 박막에서의 면저항과 불순물의 확산 깊이에 대한 프로파일을 조절하였다. 그리고 면저항을 측정하고 불순물의 확산 깊이에 대한 프로파일은 SRP(spreading resistance profiling)와 Hall measurement를 이용하여 관찰하였다.

2. 본 론

2.1 실험 방법

우선 산화된(oxidized) 실리콘 기판 위에 온도 280°C에서 플라즈마 화학기상증착(plasma enhanced CVD : PECVD) 방법으로 100nm 두께의 수소화된 비정질 실리콘(hydrogenated amorphous silicon: a-Si:H) 박막을 증착하였다. 그리고 레이저를 이용한 결정화 중에 발생될 수 있는 a-Si 박막 내 수소의 급격한 방출로 인한 박막의 손상을 방지하기 위해 레이저 조사에 앞서 450°C에서 3시간 동안 탈수소(dehydrogenation)를 거쳤다. 다음으로 50nm 두께의 PSG 박막을 SiH₄, PH₃, O₂를 반응 물질로 하여 375°C에서 상압 화학기상증착(atmospheric pressure CVD : APCVD)을 이용해 증착하였다. PSG 박막 내의 불순물의 양은 고정된 O₂ 유량을 흘리는 상태에서 PH₃/SiH₄의 유량비로 조절할 수 있다. BSG 박막은 B₂H₆를 반응 물질로 이용해 위와 같은 방법으로 형성하였다. 이렇게 만든 샘플 위에 20ns의 펄스를 갖는 XeCl 엑시머 레이저 ($\lambda = 308\text{nm}$)를 조사하였고 레이저 에너지 밀도와 조사 횟수를 변화시키면서 면저항과 불순물의 확산 깊이를 조절하였다.

레이저 조사 시 대부분의 레이저 에너지는 PSG (또는 BSG) 아래의 a-Si 박막으로 흡수되는데 그 이유는 a-Si 박막 위에 있는 PSG (또는 BSG) 박막이 레이저 파장 $\lambda = 300\text{nm}$ 근처에서 낮은 흡수계수(absorption coefficient)를 갖기 때문이다[2]. 따라서 레이저 조사로 a-Si 박막이 녹고 PSG에 있는 불순물이 녹아있는 a-Si 박막 안으로 확산되어 성공적으로 도핑된 poly-Si 박막이 형성된다.

2.2 실험 결과

실험 결과는 PSG 및 BSG 층 형성 시 반응 가스의 유량비, PSG 및 BSG 층위에 조사하는 레이저 에너지 밀도와 조사 횟수에 따른 도핑 영역의 전기적인 특성을 조사하였다.

2.2.1 도핑된 poly-Si 박막의 면저항 관찰

2.2.2 불순물 Doping profile 측정

불순물 인(P)의 확산 깊이 프로파일(dopant depth profile)은 SRP(spreading resistance profiling)으로 관찰하였다. a-Si 박막의 두께는 200nm, PH₃/SiH₄의 유량비는 0.38이고 O₂의 유량은 3000sccm이다. 그림 3(a)는 레이저 에너지 밀도에 따른 면저항과 평균 불순물 농도(average dopant concentration)를 나타낸다. 여기서 레이저 조사 횟수는 10회이며 평균 불순물 농도는 Hall measurement로부터 구한 값이다. 그림 3(b)는 레이저 에너지 밀도에 따른 스프레딩 저항(spreading resistance) 분포이다. 레이저 에너지 밀도가 증가함에 따라 불순물의 투과 깊이(penetration depth)와 표면 불순물 농도(surface dopant concentration)는 증가함을 알 수 있다. 이러한 측정 결과는 평균 불순물 농도가 증가하는 결과를 뒷받침한다.

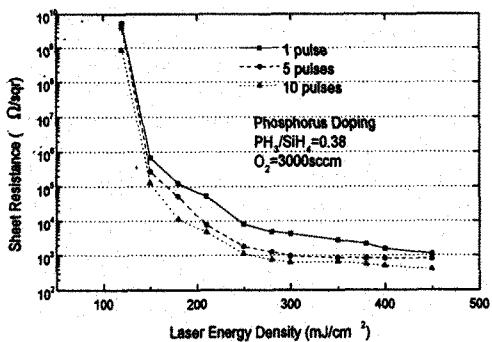


그림 1. 인(P)의 도핑 경우 레이저 에너지 밀도에 따른 면저항 변화 (PH₃/SiH₄ 유량비는 고정시킴)

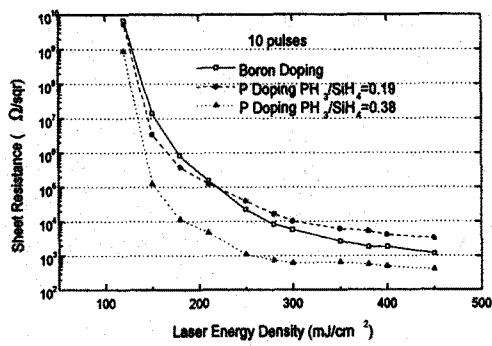
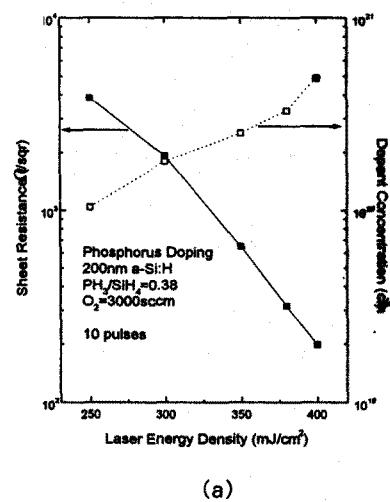


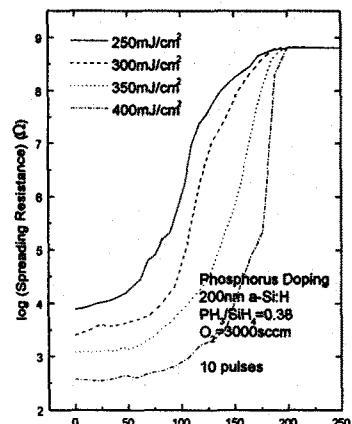
그림 2. PH₃/SiH₄ 유량비 변화에 따른 면저항 변화 및 붕소(B)의 도핑 경우 레이저 에너지 밀도에 따른 면저항 변화

도핑된 poly-Si·박막의 면저항(sheet resistance)은 4점 탐침기(four-point probe)로 관찰할 수 있으며 그림 1은 인(phosphorus)의 도핑 정도를 나타내는 면저항을 레이저 에너지 밀도에 따른 함수관계로 나타내고 있다. PSG 충착 조건은 O₂의 유량을 3000sccm, PH₃/SiH₄의 유량비는 0.38이다. 그림에서 레이저 에너지 밀도와 조사 횟수가 증가할수록 면저항 값이 감소된다는 것을 알 수 있다. 위의 실험 결과 레이저 에너지 밀도 250mJ/cm²에서 10번 조사했을 경우 1k Ω/\square 보다 작은 면저항 값을 얻었다.

인(phosphorus)의 도핑 경우 PH₃/SiH₄ 유량비를 변화시켰을 때 면저항의 변화는 그림 2에 나타나 있다. 그리고 BSG를 이용한 붕소(boron) 도핑의 경우 레이저 에너지에 따른 면저항의 변화 또한 그림 2에 나타나 있으며 여기서 조사 횟수는 역시 10회이다. 그림으로부터 면저항이 PH₃/SiH₄의 유량비에 의해 조절됨을 알 수 있고 이러한 실험 결과로 본 연구에서 제안한 방법으로 인(P) 및 붕소(B)의 도핑이 가능함을 확인하였다. 인(P) 와 붕소(B) 도핑에서 실험 결과의 차이는 불순물이 포함된 박막 내 불순물의 농도 차이 및 도핑된 n-type/p-type 박막 내에서 전자와 홀의 이동도 차이에 의한 것이다. 실험을 통해 인(P)의 도핑에서는 450 Ω/\square 의 최소 면저항 값을, 붕소(B)의 도핑 경우 최소 1100 Ω/\square 의 면저항 값을 성공적으로 얻어냈으며 이는 poly-Si TFTs에서 소스 및 드레인 영역을 형성하기에 충분히 낮은 값이라고 볼 수 있다.



(a)

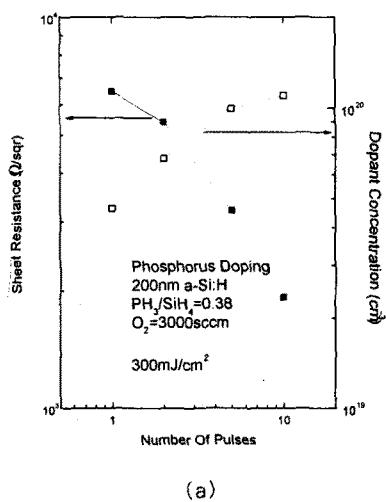


(b)

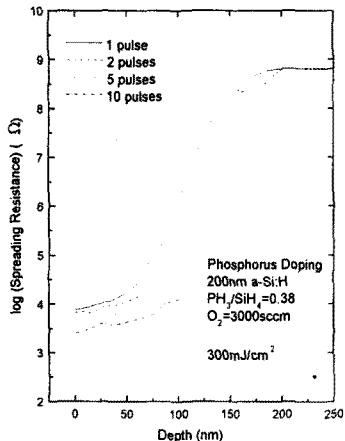
그림 3.(a) 레이저 에너지 밀도에 따른 면저항 및 평균 불순물 농도(average dopant concentration) 변화, (b) 스프레딩 저항(spreading resistance) 분포

2.2.3 레이저 조사 횟수에 따른 변화 관찰

이번에는 레이저 조사 횟수에 따른 분포를 관찰하였는데 그림 4(a)과 4(b)에서 보는 바와 같이 앞의 결과와 유사한 결과를 얻었다. 그림 4(a)는 레이저 조사 횟수에 따른 면저항 및 평균 불순물 농도의 변화를 그리고 4(b)는 스프레딩 저항 분포를 나타낸다. 여기서 레이저 에너지 밀도는 300mJ/cm^2 로 고정시키고 조사 횟수는 1회, 2회, 5회, 10회로 나누었다. 그림 3과 4를 비교하면 불순물의 도핑 농도(doping concentration), 불순물의 투과 깊이 및 표면 불순물 농도의 변화의 폭에서 차이가 존재할 수 있다. 이로부터 확인할 수 있는 사실은 도핑 영역의 전기적 특성은 레이저 조사 횟수보다는 레이저 에너지 밀도 변화에 더 크게 의존한다는 것이다.



(a)



(b)

그림 4.(a) 레이저 조사 횟수에 따른 면저항 및 평균 불순물 농도(average dopant concentration) 변화, (b) 스프레딩 저항(spread resistance) 분포

3. 결 론

본 연구에서는 다결정 실리콘 박막 트랜지스터(poly-Si TFTs)에서 소오스 및 드레이인 형성을 위해 인(P)을 포함하는 PSG(phosphosilicate glass)와 봉소(B)를 포함하는 BSG (borosilicate glass) 막을 도핑 물질(dopant)로 하여 저온에서 엑시머 레이저(eximer laser)로 활성화하는 공정을 제시하였다. 제안한 방법으로 반응 물질인 PH_3/SiH_4 의 유량비와 레이저 에너지 밀도 및 조사 횟수의 변화에 따라 도핑된 박막의 면저항 값과 도핑 프로파일을 성공적으로 조절할 수 있었다. 불순물의 투과 깊이와 표면 불순물의 농도는 레이저 에너지 밀도가 클수록 그리고 조사 횟수가 많아질수록 증가함을 확인했으며, 최소 면저항 값은 인(P)의 도핑에서는 $450\Omega/\square$ 을 얻었고 봉소(B)의 도핑 경우 $1100\Omega/\square$ 을 얻었다. 본 PSG 와 BSG 막을 이용한 레이저 도핑 기술은 저온 poly-Si TFTs 공정에 효과적으로 쓰일 수 있음을 확인하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] M. Hack, P. Mei, R. Lujan and A. G. Lewis, *JNCS* 164-166, 727-730 (1993)
- [2] K. Sera, F. Okumura, S. Kaneko, S. Itoh, K. Hotta and H. Hoshino, *J. Appl. Phys.* 67, 2359, (1990).
- [3] T. Sameshima, H. Tomita and S. Usui, *Jpn. J. Appl. Phys.* 27, L1935-L1937 (1988).
- [4] G. K. Guist and T. W. Sigmon, *IEEE Electron Device Lett.* 18, 394 (1997).
- [5] S. Inui, T. Nii and S. Matumoto, *IEEE Electron Device Lett.* 12, 702 (1991).