

## 마이크로 웨이브를 이용한 이온의 활성화 방법에 관한 연구

김 천 홍, 유 준 석, 박 철 민, 한 민 구  
서울대학교 공과대학 전기공학부

### Activation of Implanted Ions by Microwave Annealing

Cheon-Hong Kim, Juhn-Suk Yoo, Cheol-Min Park, Min-Koo Han  
School of Electrical Engineering, Seoul National University

**Abstract** - We have investigated activation phenomena of implanted ions on silicon wafers using microwave(2.45GHz). It is found that the higher concentration of impurities makes the better activation effects by microwave annealing. We have exposed poly-Si TFTs by microwave in order to anneal and improved the device performance. Microwave activates source/drain ions and lowers the contact resistance so that the current of the poly-Si TFTs increases. In addition, the leakage current of hydrogen passivated poly-Si TFTs is decreased after microwave annealing, due to the diffusion of hydrogen ions and curing the defects in the poly-Si active channel.

#### 1. 서 론

다결정 실리콘 박막 트랜지스터는 높은 전계 효과 이동도 때문에 AMLCD(Active Matrix Liquid Crystal Display) 등의 응용 분야에 활용 범위가 확대되고 있다[1]. 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 소오스와 드레인층은 이온 주입(Ion Implantation)이나 이온 샤워(Ion Shower) 방법을 통해 주입된 이온들을 저온 열처리(600℃, 24시간)나 엑시머 레이저를 이용하여 활성화시켜 제작된다[2][3]. 그러나, 저온 열처리의 경우 낮은 가격의 유리 기판을 사용하기에는 열처리 온도가 높고 활성화 시간이 길어서 상업적으로 이용하기에는 많은 문제점이 있고, 엑시머 레이저를 이용한 활성화의 경우 대면적의 기판에 사용하기에는 아직 균일하지 못한 단점이 있다.

본 연구에서는 실리콘 기판에 이온 주입 방법으로 주입된 As(Arsenic) 이온들을 마이크로 웨이브를 이용하여 활성화시켜 도핑 농도 분포를 측정하였고, 실리콘 기판에 제작된 다결정 실리콘 박막

트랜지스터를 마이크로 웨이브를 이용하여 어닐링하여 어닐링 전후의 전류( $I_D$ )-전압( $V_G$ ) 전달 특성을 조사하였다.

#### 2. 본 론

본 연구에서는 주입된 이온들을 마이크로 웨이브를 이용하여 활성화시키는 방법에 대해 조사하였다. 먼저 이온 주입된 As 이온들을 RTA(Rapid Thermal Annealing)와 마이크로 웨이브 오븐(Microwave Oven)으로 활성화시켜 SRP(Spreading Resistance Profiling)으로 각각의 도핑 농도 분포를 측정하여 이온 도우즈(Dose)에 따른 활성화 정도의 차이를 조사하였다. 또한, 마이크로 웨이브에 의한 이온의 활성화가 소자의 특성 변화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 다결정 실리콘 박막 트랜지스터를 제작하고 마이크로 웨이브를 이용하여 어닐링하여 전류( $I_D$ )-전압( $V_G$ ) 전달 특성을 조사하였다. 수소화를 수행하지 않은 소자와 수행한 소자에 대하여 마이크로 웨이브 어닐링 전후의 전류( $I_D$ )-전압( $V_G$ ) 전달 특성 변화를 각각 측정하여 비교하였다.

##### 2.1 주입된 As 이온의 활성화

P-형 실리콘 기판 위에  $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 와  $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$  도우즈의 As 이온을 70KeV의 에너지로 각각 이온 주입하고 TEOS 1000Å을 증착한 후, RTA와 마이크로 웨이브 오븐으로 주입된 이온들을 활성화시켰다. RTA는 1050℃에서  $\text{N}_2$  분위기로 30초 동안 수행하였고, 마이크로 웨이브 어닐링은 주파수 2.45GHz의 마이크로 웨이브 오븐에서 60초 동안 수행하였다. SRP로 측정된 도핑 농도 분포가 도우즈  $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 와  $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 에 대하여 그림 1과 그림 2에 각각 나타나 있다. 도우즈가  $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ 인 경우(그림 1) 마이크로 웨이브 어닐링을 수행한 시편이 RTA를 수행한 시편에 비해 As 이온들의 활성화가 충분히 이루어지지 않았음을 알

수 있다. 그러나, 도우즈가  $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ 인 경우(그림 2) 마이크로 웨이브 어닐링을 수행한 시편이 RTA를 수행한 시편만큼 활성화가 충분히 이루어졌고 확산이 더 적게 일어났음을 알 수 있다.

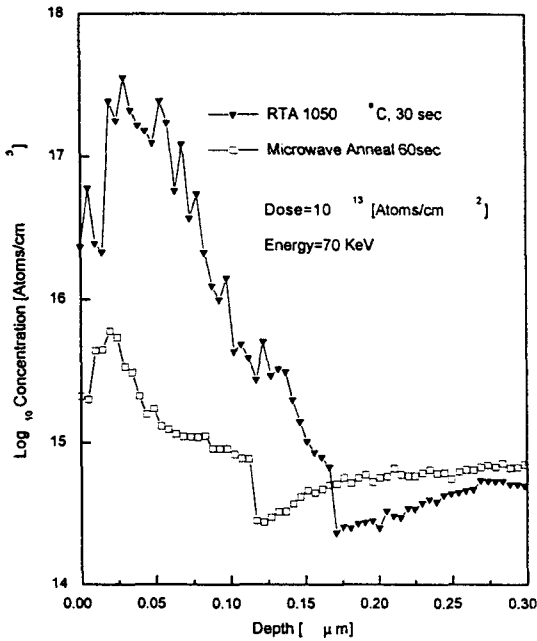


그림 1. 주입된 As 이온(Dose= $1 \times 10^{13} \text{cm}^{-2}$ )을 RTA와 마이크로 웨이브 어닐링 후 SRP로 측정된 도핑 농도 분포

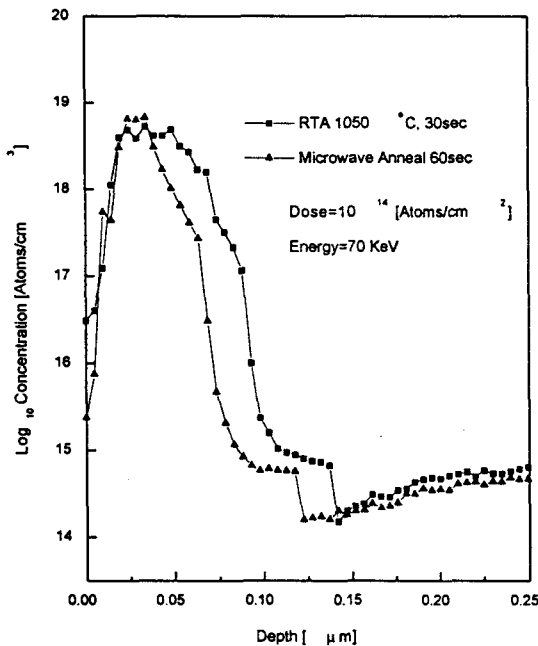


그림 2. 주입된 As 이온(Dose= $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ )을 RTA와 마이크로 웨이브 어닐링 후 SRP로 측정된 도핑 농도 분포

이로부터 주입된 이온의 농도가 높을수록 활성화가 잘 되는 것을 알 수 있으며, 이는 실리콘 원자와 결합하지 못한 이온들이 마이크로 웨이브의 전자기장에 영향을 받는 전기적, 자기적 쌍극자(Dipole) 역할을 하여 이들이 여기 되어서 활성화 에너지를 흡수하여 실리콘 원자와 결합하거나 열 에너지로 변화하여 활성화를 촉진시키는 결과를 얻은 것으로 분석된다

## 2.2 다결정 실리콘 박막 트랜지스터의 마이크로 웨이브 어닐링 효과

마이크로 웨이브에 의한 이온의 활성화가 소자의 특성 변화에 미치는 영향을 조사하기 위하여 다결정 실리콘 박막 트랜지스터를 제작하여 마이크로 웨이브 어닐링 전후의 전류( $I_D$ )-전압( $V_G$ ) 전달 특성 변화를 측정하였다. 또한, 제작된 소자를 수소화와 마이크로 웨이브 어닐링을 병행하여 마이크로 웨이브 어닐링 전후의 전달 특성 변화를 측정하여 비교하였다. 수소화는 PECVD로 350°C에서 60분 동안 수행하였다. 제작된 소자의 주요 공정 순서는 다음과 같다. 실리콘 웨이퍼 위에 습식 산화로 5000Å의 열산화막을 형성하고 1000Å 두께의 비정질 실리콘을 550°C에서 LPCVD로 증착한 후 고상 결정화(SPC, Solid Phase Crystallization) 방법을 사용하여 600°C에서 48시간 열처리하여 다결정 실리콘으로 결정화한다. Active 마스크를 사용하여 결정화된 다결정 실리콘을 식각하여 트랜지스터의 채널 영역을 형성하고, 1000Å의 게이트 산화막과 2000Å의 비정질 실리콘 게이트를 증착한 후 게이트 마스크를 사용하여 게이트와 게이트 산화막을 차례로 식각한다. 이후  $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$  도우즈의 Arsenic 이온을 70 KeV의 에너지로 이온 주입하여 소오스와 드레인 그리고 게이트 전극을 도핑한다. 그리고 TEOS 절연막을 증착하고 소오스와 드레인에 주입된 이온을 600°C에서 12시간 동안 열처리하여 활성화 시킨다. 마지막으로 Al 전극을 형성한다.

### 2.2.1 수소화를 하지 않은 소자의 마이크로 웨이브 어닐링 전후의 전달 특성 변화

그림 3은 제작된 다결정 실리콘 박막 트랜지스터를 마이크로 웨이브에 의해 어닐링하기 전과 후의 소자의 전류( $I_D$ )-전압( $V_G$ ) 전달 특성 곡선을 비교하여 보여주고 있다. 제작된 후 아무런 후처리 공정을 거치지 않은 소자의 전달 특성을 살펴보면, 소오스와 드레인에 주입된 이온들이 충분히 활성화하지 못하여 곡선의 모양이 V형을 띠고 있으며 도통 전류가 매우 낮고 상대적으로 누설 전류의 양도 높다. 동일한 소자를 마이크로 웨이브에 의해 30초 동안 어닐링 하면 도통 전류와 누설 전류의 양이

급격하게 증가되는 것을 알 수 있다. 이것은 마이크로 웨이브가 주입된 이온들을 활성화시켜 금속 전극과 소오스, 드레인 간의 접촉 저항이 감소하여 절대적인 전류의 양이 증가된 것으로 분석된다.

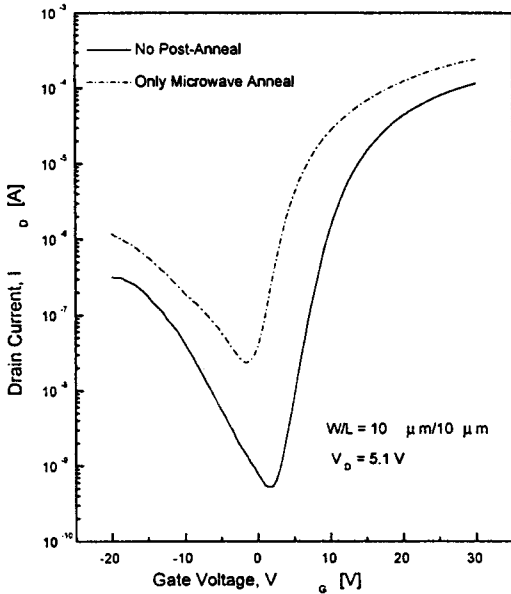


그림 3. 수소화를 하지 않은 소자의 마이크로 웨이브 어닐링 전후의 전달 특성 변화

기 전과 후의 소자의 전류( $I_D$ )-전압( $V_G$ ) 전달 특성 곡선을 비교하여 보여주고 있다. 제작된 소자를 350℃에서 60분 동안 수소화한 후 마이크로 웨이브에 의해 30초 동안 어닐링 하면, 도통 전류는 증가하고 누설 전류는 급격하게 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 마이크로 웨이브가 주입된 이온들을 활성화시켜 접촉 저항이 감소하여 도통 전류가 증가하고, 마이크로 웨이브에 의해 수소 이온들이 다결정 실리콘 채널 깊이 침투하여 전하 포획 상태 밀도가 감소하여 누설 전류가 감소된 것으로 분석된다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 주입된 이온들을 마이크로 웨이브를 이용하여 활성화시키는 방법에 대해 조사하였다. 주입된 이온의 농도가 높을수록 활성화가 잘 되는 것을 확인할 수 있었으며, 제작된 다결정 실리콘 박막 트랜지스터를 마이크로 웨이브를 이용하여 어닐링하면 소오스와 드레인에 주입된 이온들의 활성화 정도가 향상되어 단자의 접촉 저항이 감소하여 전류가 증가함을 알 수 있었다. 또한, 수소화를 수행한 소자를 마이크로 웨이브를 이용하여 어닐링하면 수소 이온들의 확산으로 인해 누설전류가 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

### (참 고 문 헌)

- [1] K. Shimizu, K. Nakamura, M. Higashimoto, S. Sugira and M. Matsumura, "High-Performance Poly-Si Thin Film Transistors with Excimer-Laser Annealed Silicon-Nitride Gate", Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 32, No. 1B, pp. 452-457, 1993
- [2] A. Mimura, N. Konishi, K. Ono, J-I. Ohwada, Y. Hosokawa, Y. A. Ono, T. Suzuki, K. Miyata, and H. Kawakami, " High Performance Low-Temperature Poly-Si n-Channel TFT's for LCD", IEEE T-ED, vol. 36, No. 2, pp. 351-359, 1989
- [3] H. Kuriyama, S. Kiyama, S. Noguchi, T. Kuwahara, S. Ishida, T. Nohda, K. Sano, H. Iwata, S. Tsuda, S. Nakano, "High Mobility Poly-Si TFT By New Excimer Laser Annealing Method For Large Area Electronics", IEEE IEDM, pp. 563-566, 1991

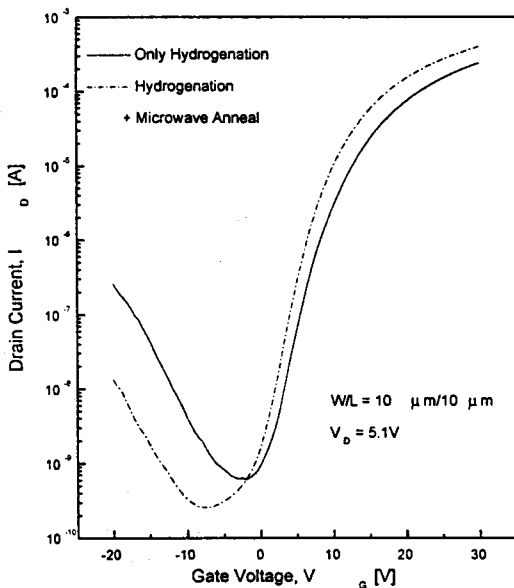


그림 4. 수소화 공정을 거친 소자의 마이크로 웨이브 어닐링 전후의 전달 특성 변화

#### 2.2.2 수소화 공정을 거친 소자의 마이크로 웨이브 어닐링 전후의 전달 특성 변화

그림 4는 제작된 다결정 실리콘 박막 트랜지스터를 수소화한 후 마이크로 웨이브에 의해 어닐링하