

# CO<sub>2</sub> 레이저 열처리에 의한 SOI 구조에서의 다결정 실리콘의 재결정화

## (The Recrystallization of Polysilicon in SOI by CO<sub>2</sub> Laser Annealing)

吳 敏 祿\*, 安 哲\*

(Min Rok Oh and Chul AN)

### 要 約

SiO<sub>2</sub> 위에 적층한 다결정 실리콘 층을 CO<sub>2</sub> 레이저 열처리로 재결정화시켰다. (100) 실리콘 웨이퍼 위에 두께 13000 Å의 산화막을 키운 다음 이 위에 두께 6000 Å의 다결정 실리콘 층을 LPCVD 방법으로 형성시켜 이 다결정층을 식각작업(photolithography)으로 작은 island들로 만든 후 열처리하였다.

열처리 전에 1000 Å 미만이던 결정입정이 열처리 후 2~10 μm까지 증가했음을 SEM(scanning electron microscopy)으로 관찰하였다.

### Abstract

The recrystallization of polysilicon layer deposited on SiO<sub>2</sub> was attempted by means of CO<sub>2</sub> laser annealing in this paper. SiO<sub>2</sub> layer of 13000 Å thick and polysilicon layer of 6000 Å thick were successively deposited on (100) Si wafer by thermal oxidation and LPCVD, respectively.

Prior to the annealings the polysilicon layer was defined in small island patterns by means of photolithography. After the annealing an increase in grain size from 1000 Å to 2-10 μm was observed by SEM.

### I. 서 론

반도체 공정기술의 발달로 소자의 크기가 감소함에 따라 집적회로의 집적도가 증가하고 있지만 아무리 미세한 공정이 가능하더라도 집적도의 한계점에 이르게 될 것이다. 그러나 평면적(2차원적)으로 구성되고 있는 현재의 집적회로 구조를 다층구조<sup>1)</sup>(3차원적)로 확

장한다면 집적도의 한계를 어느 정도 극복할 수 있을 것이다.

SiO<sub>2</sub> 층 위에 적층한 다결정 실리콘을 재결정화하여 그 재결정화된 층에 소자를 구성하고 다시 그 위에 SiO<sub>2</sub> 층을 형성한 후 계속해서 적층된 실리콘 층에 소자를 구성하여 나가는 것이 다층구조를 이루는 방법중의 하나인데 이에 관한 연구가 최근에 관심을 끌고 있다.

그러나 절연층 위에 적층된 실리콘 층이 작은 결정입정으로 이루어진 다결정 구조를 갖는 경우 결정입정 경계(grain boundary)는 실리콘 박막의 전기적 특성을 나쁘게 하는 주요 원인이 되고 있다.<sup>2)</sup> 그러므로 소

\*正會員, 西江大學校 電子工學科

(Dept. of Elec. Eng., Sogang Univ.)

接受日字: 1986年 9月 10日

(※ 본 연구는 1985년도 반도체공동연구소의 연구비 지원에 의한 것임.)

자를 제작하기에 적합한 질이 좋은 SOI 박막을 얻기 위해서는 다결정 실리콘의 결정입정 경계를 없애거나 줄여야 한다.

다결정 실리콘의 재결정화를 위해서 사용되는 열원으로는 graphite strip heater,<sup>[3,4]</sup> arc lamp,<sup>[5]</sup> electron beam<sup>[6,7]</sup> 및 laser<sup>[8-11]</sup>가 있다. 레이저 열처리는 높은 에너지 밀도의 빔을 다른 부분에 영향을 주지 않고 선택적으로 열을 가할 수 있으며 표면만 얇게 용융시킬 수 있으므로 위에 언급했던 재결정화에 효과적인 방법으로 알려져 있다.

본 논문에서는 CO<sub>2</sub> 레이저를 열원으로 선택하였는데 보통의 경우 실리콘의 레이저 열처리에는 CO<sub>2</sub> 레이저가 부적당하지만 본 연구의 시료 구조에서는 적절하게 사용될 수 있다. 즉 파장 10.6μm의 CO<sub>2</sub> 레이저 빛은 실리콘에서의 흡수 계수가 1~10cm<sup>-1</sup> 정도로 매우 작아 실리콘 층을 직접 가열하기에는 부적당하다. 그런데 본 시료에서 실리콘 층 밑에 있는 SiO<sub>2</sub> 층에서는 상온에서 Si-O 본드의 진동 에너지에 해당하는 9.3 μm의 파장에서 흡수 계수가 10<sup>4</sup>cm<sup>-1</sup> 정도인 강력한 흡수가 일어나며 시료를 300~350℃로 유지시키면 흡수 대역이 CO<sub>2</sub> 레이저 파장인 10.6 μm 근방으로 이동한다.<sup>[12]</sup> 따라서 시료를 300~350℃로 가열시키고 CO<sub>2</sub> 레이저를 조사하면 레이저 에너지가 SiO<sub>2</sub> 층에 흡수되고 이 에너지가 그 위에 있는 다결정 실리콘 층에 열 확산에 의해서 전달될 수 있는 것이다.

열처리 하기 전에 다결정 실리콘을 island pattern (50 μm×200 μm)으로 형성하였다. 이는 결정입정이 성장함에 따라 결정입정 경계의 strain이 쉽게 island 경계면에서 끝나게 되고 island와 sea (SiO<sub>2</sub>)에서의 레이저 빛의 흡수량 차이 때문에 island 가장자리 부분이 중심 지역보다 온도가 높게 되어 재결정화에 필요한 오히려 온도를 쉽게 얻을 수 있기 때문이다. 따라서 연속적인 층을 열처리하는 것보다 island pattern을 열처리하는 것이 결정입정을 더 크게 성장시킬 수 있다.<sup>[13]</sup>

## II. 실험

### 1. 시료 준비

저항율이 5~15Ωcm인 N형 실리콘 (100) 웨이퍼를 사용하여 그림 1 과 같은 순서로 시료를 제작하였다. 습식 산화법으로 두께 13000 Å의 SiO<sub>2</sub>를 형성시킨 후 그 위에 SiH<sub>4</sub> gas를 사용해서 625℃에서 LPCVD법으로 두께 6000 Å의 다결정 실리콘 층을 형성시켰다. 레이저 열처리를 위해 이 위에 다시 건식 산화법으로 두께 500 Å 정도의 SiO<sub>2</sub> 캡층을 형성시켰는데 이는 시료

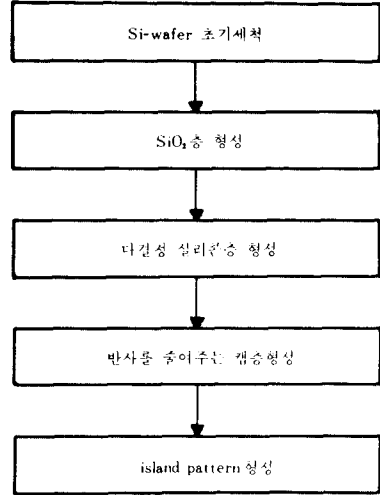


그림 1. 시료 준비 순서도  
Fig. 1. Flow chart of sample.

표면에서의 레이저 빛의 반사를 줄이고 열처리 도중에 발생할 수 있는 실리콘층의 솟아오름을 방지하기 위한 것이다.

이렇게 제작한 시료의 다결정 실리콘 층을 photolithography로 50 μm×200 μm의 island pattern들로 형성시켰는데 직사각형 모양의 것과 한쪽 끝을 tapering한 것 두 종류를 만들어 보았다. 한쪽 끝을 tapering한 것은 단결정화에 유리하게 하기 위한 것이다. 이렇게 완성된 시료의 단면과 island들의 평면은 각각 그림2, 그림3 과 같다.

### 2. 레이저 열처리

레이저 열처리 장치의 개략도는 그림 4 와 같다. 시료를 가열판 위에 고정시키고 가열판 온도를 350℃로 유지시켰다. 레이저 빔을 초점거리 4 cm인 ZnSe 렌즈로 집속시켜 시료 표면에서의 직경이 100 μm정도 되게

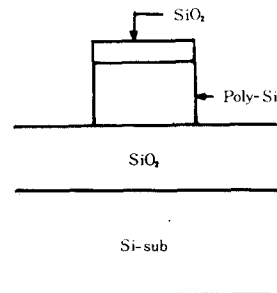


그림 2. 시료의 단면도  
Fig. 2. Sample cross section.

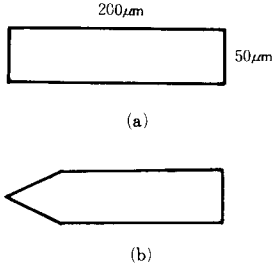


그림 3. Island 평면도  
Fig. 3. Island plane.

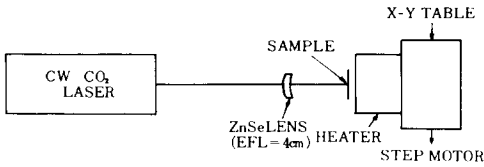


그림 4. 실험장치  
Fig. 4. Experimental setup.

하였다. 가열판이 부착되어 있는 X-Y table을 step motor로 350 μm/sec의 속도로 이동시켜 빔을 주사했다. 출력은 열처리 전후의 값을 평균했는데 가능한 한 출력이 안정될 때까지 기다려 실험을 수행하였다. 레이저 출력은 5W 정도로 고정시켰다.

III. 실험결과 및 고찰

열처리된 시료의 결정입장 크기를 관찰하기 위해 SEM(scanning electron microscopy)으로 촬영하였다. 사진 촬영전에 다결정 실리콘 island 위의 얇은 캡층(약 500 Å)을 HF:H<sub>2</sub>O=1:20 용액에서 약 60초 동안 etching하여 제거하고 결정입장 경계면을 용이하게 관찰하기 위해서 다결정 실리콘 층을 SECCO(HF:K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>=2:1) 용액에서 수초(약 2~3초)간 etching 하였다.

그림 5의 (a)는 레이저 빔이 island를 완전히 포함하여 빔의 중심과 island의 대칭축이 거의 일치되어 주사된 한 개의 직사각형 island의 경우인데 island의 거의 전역에서 결정입장 크기가 1000 Å 미만이었다. 그리고 (b)는 한쪽 끝을 tapering 한 island를 빔이 완전히 포함하여 지나간 경우인데 island 전역에서 평균 2.2 μm 크기의 결정입장으로 커졌음을 알 수 있다. 이 결과는 한쪽 끝을 tapering 한 쪽이 재결정화에 유리함을 보여 주고 있지만 더 많은 실험을 통해 같은 결과를 얻어야만 단언할 수 있겠다.

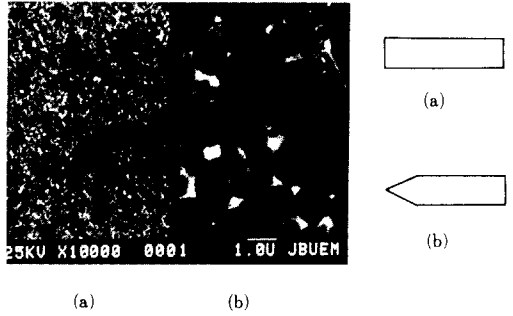


그림 5. Island 모양에 따른 결정입장 크기의 변화  
Fig. 5. The changes of grain size in tapered and non-tapered island.

그림 6은 tapering 한 island를 레이저 빔이 island의 대칭축을 벗어나 한 쪽으로 치우쳐서 주사된 것인데 (a)는 빔의 가장자리가 지나간 부분이고, (b)는 빔의 중심이 지나간 island의 가장자리 부분이다. 빔의 중심이 지나간 부분에서는 결정입장의 크기가 5~10 μm까지 커진 반면 빔의 중심으로부터 island쪽으로 멀어질 수록 결정입장의 크기가 작아져 있음을 관찰할 수 있다. 이것은 island의 중심 부분이 가장 자리 부분보다 낮은 온도 분포를 이루므로 중심에서 가장자리 쪽으로 결정입장이 성장한 것을 관찰할 수 있다.

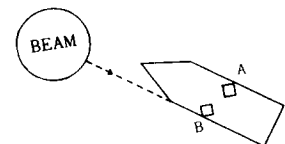
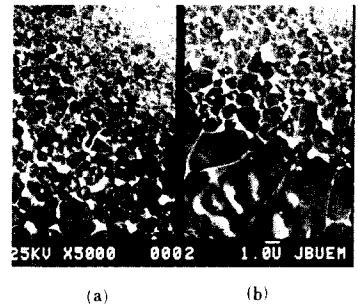


그림 6. 빔 중심이 island 중심 축과 일치되지 않고 주사된 island에서의 결정입장 성장  
Fig. 6. The grain growth in an island scanned by laser beam misaligned with the center axis of island.

그림 7은 그림 6의 경우와 이 빔의 중심이 island 대칭축을 벗어나 한 쪽으로 치우쳐서 주사된 또 다른 island의 경우인데 빔의 중심이 지나간 부분의 결정입정들은 최고 14 $\mu\text{m}$ 까지 증가한 반면 빔의 중심이 지나간 자리에서 멀어질 수록 결정입정 크기가 작아짐을 볼 수 있다. 이 경우에도 역시 결정입정이 빔의 중심 부분에서 주사한 방향과 수직인 방향으로 성장되고 있음을 볼 수 있다. 다만, 이 두 경우 island 가장 자리 부분의 결정입정 크기에 차이가 있는데 이는 그림 7의 경우 빔의 중심이 지나간 곳이 그림 6의 경우 보다 가장자리에서 멀리 떨어져 있기 때문에 재결정화가 더 먼 곳에서부터 시작되었기 때문이 아닌가 생각되는데 실험 도중 레이저 출력의 변화 또는 표면 상태에 따른 레이저 빛의 흡수의 불균일 때문에 생겼을 가능성도 배제할 수 없다. 또 앞의 그림 5의 경우 빔의 중심이 island의 중심축과 일치한 경우 결정입정들이 island 전역에 걸쳐 균일하게 컸으나 가장 자리에서 그림 6, 7의 경우보다 크지 않은 것은 레이저 빔의 에너지 밀도가 gaussian 분포를 갖는다는 점을 감안하면 가장 자리에서의 온도가 그림 6, 7의 경우보다 낮아 임계온도 이상 되지 못했기 때문이 아닌가 추측되는데 이는 레이저 출력을 더 크게 하거나 island 폭을 더 작게 하면 개선되지 않을까 생각된다. 또 그림 6, 그림 7에서 관찰할 수 있듯이 결정입정의 성장이 빔이 주사되는

방향과 수직인 쪽으로 더 크게 이루어지고 있는데 주사 방향 쪽으로도 결정입정을 더 키우기 위해서 주사 속도를 변화시켜 보는 것도 바람직하리라 생각한다.

#### IV. 결 론

SOI 구조에서 다결정 실리콘 층을 CO<sub>2</sub> 레이저로 열처리하여 결정입정의 크기를 증가시켰다.

열처리전에 1000Å 미만이던 다결정 실리콘의 결정입정이 열처리 후에 2~10 $\mu\text{m}$  크기까지 증가했음을 SEM으로 확인하였다. 한편 기판에 열을 가하지 않고 열처리한 시료에서는 결정입정 크기의 변화를 관찰할 수 없었는데 이것은 Si 층에서 레이저 빔의 흡수가 없었기 때문이라 생각한다. 앞으로 빔 크기 보다 작게 island의 폭을 변화시켜 보고 현미경을 부착하여 정확히 빔과 island 중심축을 일치시키도록 하며 주사 속도, 레이저 출력 등을 변화시켜 가면서 실험을 수행하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 생각된다.

#### 參 考 文 獻

- [1] S. Kawamura, N. Sasaki, T. Twai, M. Nakano and M. Takagi, "3-Dimensional SOI/CMOS IC's Fabricated by beam recrystallization", *IEDM*, p. 364, 1983.
- [2] R.R. Shah and D.L. Crosthwait, *Laser and Electron-Beam Solid Interactions and Materials Processing* (New York: Elsevier North Holland, Inc., 1981), pp. 471-478.
- [3] E.W. Maby, M.W. Geis, L.Y. Lecoz, D.J. Sileversmith, R.W. Mountain and D.A. Antoniadis, "MOSFET's on silicon prepared by moving melt zone recrystallization of encapsulated polycrystalline silicon on an insulating substrate", *IEEE Elec. Dev. Lett.*, *EDL-2*, 241-243, 1981.
- [4] M.W. Geis, H.I. Smith, B-Y. Tsaur, J.C.C. Fan, E.W. Maby and D.A. Antoniadis, "Zone-melting recrystallization of encapsulated silicon film on SiO<sub>2</sub>-morphology and crystallography", *Appl. Phys. Lett.*, *40*(2), 158-160, 1982.
- [5] T.J. Shultz and J.F. Gibbons, "Arc lamp zone melting recrystallization of Si films on oxidized silicon substrates", *Appl. Phys. Lett.*, *41* (9), 824-826, 1982.
- [6] T.I. Kamins and B.P. von Herzen, "MOSFET's in Electron-Beam recrystallized polysilicon", *IEEE EDL-2*, 313-315, 1981.

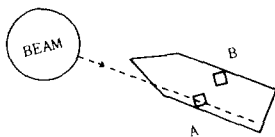
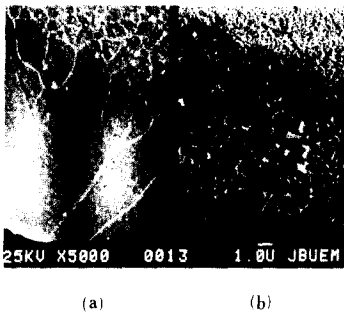


그림 7. 빔 중심이 island 중심축과 일치되지 않고 주사된 또 다른 island

Fig. 7. Another island scanned by laser beam misaligned with the center of axis of island.

- [7] D.B. Bensch and J.Y. Chen, "Recrystallization of Si films on thermal SiO<sub>2</sub>-coated Si substrates using a high-speed e-Beam line source", *IEEE EDL-5(2)* 38-40, 1984.
- [8] J. Sakurai, S. Kawamura, H. Mori and M. Nakano, "Lateral epitaxy growth in Poly-Si film over SiO<sub>2</sub> from single-Si seed by scanning CW Ar laser annealing", *Jpn. J. Appl. Phys.*, 20, L176-178, 1981.
- [9] G.K. Celler, H.J. Leamy, D.E. Aspnes, C.J. Doherty, T.T. Sheng and L.E. Trimble, *Laser and Electron Beam Solid Interactions and Materials Processing* (New York: Elsevier North Holland, Inc., 1981), pp. 435-442.
- [10] A. Gat, L. Gerzberg, J.F. Gibbons, T.J. Magee and J.D. Hong, "CW laser anneal of polycrystalline silicon: Crystalline structure, electrical properties", *Appl Phys. Lett.*, 33, 775-778, 1978.
- [11] T.J. Shultz and J.F. Gibbons, "The use of beam shaping to achieve large grain CW laser recrystallized polysilicon on amorphous substrates", *Appl. Phys. Lett.*, 39, 498-500, 1981.
- [12] Z.A. Weinberg, "Polysilicon recrystallization by CO<sub>2</sub> laser heating of SiO<sub>2</sub>", *Appl. Phys. Lett.*, 39(5), 421-422, 1981.
- [13] D.K. Biegelsen, N.M. Johnson, D.J. Bartelink and M.D. Moyer, "Laser induced crystallization of silicon islands on amorphous substrates: Multilayer structures", *Appl. Phys. Lett.*, 38(3), 150-152, 1981.
- [14] H. Secco d' Aragona, "Dislocation Etch for (100) Planes in Silicon", *J. Electrochem. Soc.*, 119 (7), 948-951, 1972.
-