

## Pd에 의해 결정화 속도가 향상된 Ni-MILC에서 기하학적 형상이 결정화 속도에 미치는 영향

김영수<sup>†</sup> · 주승기  
서울대학교 재료공학부

### The Geometric Effect in Pd Assisted Ni-MILC

Young-Su Kim<sup>†</sup> and Seung-Ki Joo

School of Materials Science & Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-741, Korea

(2004년 6월 24일 받음, 2004년 7월 13일 최종수정본 받음)

**Abstract** It is well-known that adjacent Pd-MILC enhanced the rate of Ni-MILC. And the phenomena can be explained by tensile stress propagation between amorphous silicon and Pd silicide which is catalyst of crystallization. In this study, we modified tensile stress by changing geometry of amorphous silicon to prove that there is a direct relation between tensile stress and Ni-MILC rate enhancement. When the tensile stress concentrated, the Ni-MILC rate was enhanced more(14.5  $\mu\text{m/hr}$ ) by Pd-MILC while the conventional Pd-MILC enhanced Ni-MILC rate was 11  $\mu\text{m/hr}$ . As the result we can be sure that the tensile stress causes the enhancement of Ni-MILC rate.

**Key words** MILC, Palladium, silicide, tensile stress, geometry

### 1. 서 론

모바일 기기의 상용화로 표시소자의 수요가 급증하고 있다. 특히 LCD(liquid crystal display) 산업은 전 세계적으로 그 수요의 급증으로 DRAM에 이은 제 2의 반도체 산업이 되었다. 현재 상용화되어 있는 LCD는 화소(pixel)의 스위칭을 위한 비정질 실리콘 박막 트랜지스터와 구동 IC로 이루어져 있다. 그중에서 LCD의 성능을 좌우하는 것은 박막 트랜지스터의 스위칭 속도라고 할 수 있다. 최근 고품질, 고속 특성과 함께 대면적화를 추구하는 추세에 따라 전자 이동도가 우수한 다결정 실리콘 박막 트랜지스터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 뿐만 아니라 차세대 디스플레이 소자로 주목받고 있는 OLED(organic light emitting diode)의 상용화를 위해서는 다결정 박막 트랜지스터의 필요성은 어느 때보다도 절실한 실정이다.

다결정 실리콘 박막트랜지스터를 제조하는 공정에는 고상 결정화(solid phase crystallization)<sup>1)</sup>와 레이저를 이용한 ELA(excimer laser annealing)<sup>2)</sup> 등이 있으나 SPC의 경우는 열악한 소자특성과 고온의 열처리가 요구되는 단점이 있고, ELA의 경우에는 우수한 전기적 특성을 보이는 반면에 균일성과 비용 등의 문제로 상업화가 어려

운 실정이다.

이러한 여러 결정화 방법 중에 최근에 개발된 금속유도 측면 결정화(metal induced lateral crystallization, 이하 MILC)는 실리콘 박막의 결정화 온도를 낮추는 많은 연구 중에 가장 성공적인 방법이다. Pd과 Ni같은 금속을 증착한 후 열처리를 하면 앞의 실리콘이 결정화 온도를 낮추는 촉매 역할을 하여 일종의 촉매 상변화(catalytic phase transformation)가 발생하여 500°C 이하의 저온에서도 결정화가 가능하고 금속유도 결정화(metal induced crystallization)와 달리 금속 오염이 없는 양질의 다결정 실리콘을 얻을 수 있어 고성능 poly-Si TFT를 제작할 수 있다.<sup>3,4)</sup>

이러한 MILC 현상을 이용한 TFT 제작에 관한 연구는 그동안 전 세계적으로 많이 연구되어 왔으나<sup>5-7)</sup> 이제까지 이러한 MILC의 근본 메커니즘에 대해서는 정확하게 알려지지 않았다. 이 논문에서는 비정질 실리콘의 기하학적 형태가 변함에 따라 MILC 진행 거동이 달라지는 현상을 통해 Pd-MILC assisted Ni-MILC의 원인이 tensile stress임을 확인하였다.

### 2. 실험 방법

코닝 1737 유리 위에 3000Å의 SiO<sub>2</sub>를 SiH<sub>4</sub>를 사용하여 PECVD법으로 증착한 후 Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>을 증착원으로 사

<sup>†</sup>E-Mail : hde226868@empal.com

용하여 LPCVD법으로 500Å의 비정질 실리콘을 증착하였다. SF<sub>6</sub>와 O<sub>2</sub> 기체를 각각 50 sccm, 5 sccm 사용하여 다양한 형태(25°에서부터 90°의 각을 갖는 삼각형 형태와 'ㄱ'자 형태)의 비정질 실리콘 패턴을 Dry etching 방법을 이용하여 형성시켰다. Ni과 Pd을 스퍼터링 방법으로 100Å 두께로 증착하였는데 공정 조건은 RF power 150 W, 공정 압력은 3 mTorr였다. 원하는 부분에만 금속이 증착될 수 있도록 photo-resist를 이용하여 금속 층 증착 후에 photo-resist와 금속을 함께 제거하는 lift-off 방법을 사용하였다. 열처리하는 vacuum furnace에서 550°C에서 진행하였는데 진공도는 1×10<sup>-6</sup> Torr 이하였다. 성장 양상은 광학 현미경으로 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 1과 같이 비정질 실리콘을 에칭한 후에 Ni 또는 Pd을 각각 증착하여 550°C에서 6시간 동안 열처리하였다. 그 결과 Fig. 2와 같이 Ni-MILC의 경우에는  $v_1$ ,  $v_2$  모두 5  $\mu\text{m/hr}$ 의 결정화 속도를 보인 반면, Pd-MILC의 경우는 좁아지는 방향으로의 결정화 속도  $v_1$ 이 2.9  $\mu\text{m/hr}$ , 넓어지는 방향으로의 결정화 속도  $v_2$ 가 1.4  $\mu\text{m/hr}$ 로 약 2배의 결정화 속도 차이를 나타냈다. 하지만 Ni과 Pd 모두 좁아지는 각도( $\theta$ )에는 민감하지 않았다.

이러한 현상이 나타나는 원인은 MILC의 과정 중에 발생하는 tensile stress와 직접적인 관계가 있을 것으로 생각된다. 즉, Pd-MILC의 경우, 결정질 실리콘 기지와 Pd<sub>2</sub>Si 간의 lattice misfit이 1.9%이고, Pd<sub>2</sub>Si 내에 존재하는 실리콘의 단위부피당 atomic density는  $2.363 \times 10^{22} / \text{cm}^3$  이고, 결정질 실리콘의 atomic density는  $4.993 \times 10^{22} / \text{cm}^3$ 이다. Pd<sub>2</sub>Si 내의 단위 부피당 실리콘의 개수가 결정질 실리콘 내의 실리콘 개수의 절반 밖에 되지 않기 때문에 실리사이드 내의 Pd 원자들이 실리사이드와

결정질 실리콘의 계면으로부터 비정질 실리콘 방향으로 전진하고 나면, 남겨진 실리콘 원자들이 결정질 실리콘에 재배열되면서 큰 부피 수축이 일어나게 될 것이다. 이러한 큰 부피 수축은 실리사이드와 결정질 실리콘 사이의 계면에서 큰 compressive stress를 발생시키고, 이에 따라 tensile stress가 실리사이드와 비정질 실리콘의 계면에 형성되게 된다. Pd 실리사이드에 stress의 존재는 Pd-MILC가 진행될 때 선단의 Pd<sub>2</sub>Si가 초승달 형태로 휘어져 있음이 S. -W. Lee et. al.에 의해 이미 관찰된 바 있기 때문에 그 가능성이 충분하다고 할 수 있다.<sup>8)</sup>

MILC가 진행되는 방향으로 비정질 실리콘의 폭이 좁아진다면 MILC 계면에서 발생하는 tensile stress가 집중될 것이고, 폭이 넓어진다면 stress는 분산될 것이다. 따라서 stress가 집중되는  $V_1$ 이  $V_2$ 보다 크게 되고 계면에서 발생하는 stress가 더 큰 Pd-MILC의 경우에 그 효과가 큰 것이라고 설명할 수 있다. 하지만 Ni-MILC의 경우에는 NiSi<sub>2</sub>상과 결정질 실리콘의 lattice misfit이 0.4% 정도로 크지 않기 때문에 stress의 영향이 적다. 다만 이

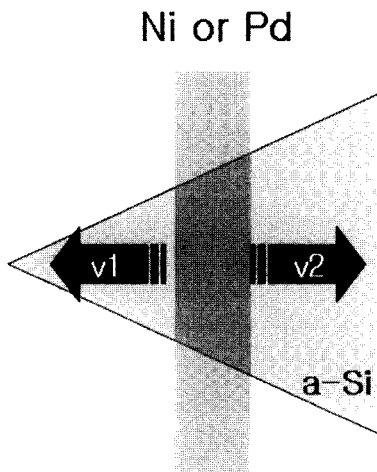


Fig. 1. Definition of  $V_1$  and  $V_2$  of the experiment.

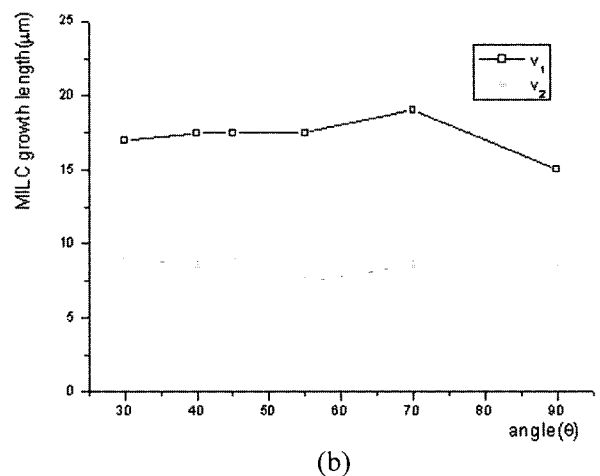
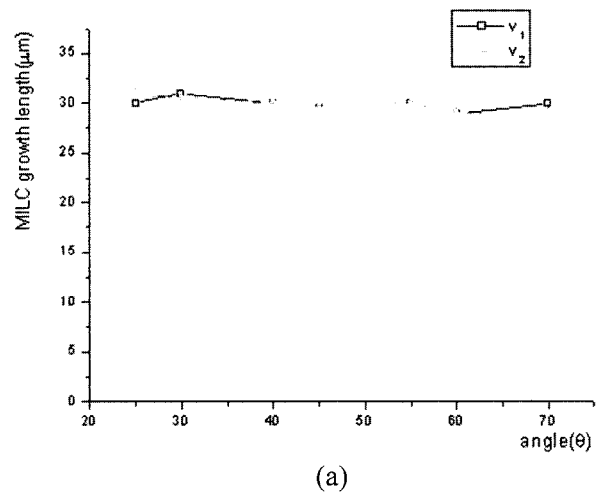


Fig. 2. Angle vs. MILC growth length for (a) Ni-MILC and (b) Pd-MILC heat treated at 550°C for 6 hr.

경우에는 비정질 실리콘이 결정질 실리콘으로 상변화를 일으키면서 발생하는 부피 수축으로 인한 약한 tensile stress만이 비정질 실리콘과 실리사이드 계면에 형성된다. 따라서 Ni-MILC의 경우에는 비정질 실리콘의 형태에 따라 stress의 집중이 확연히 나타나지 않게 된다.

최근 Aziz 그룹에서 tensile stress가 비정질 실리콘 간의 Si-Si 결합을 끊고, 실리콘 원자의 이동을 향상시켜 SPE(solid phase epitaxy) rate을 향상시킨다는 실험 결과를 보고<sup>9-11)</sup>하였다. Aziz 그룹의 보고에 더하여, 위의 실험 결과를 이용하여 tensile stress가 Ni-MILC rate 증가의 직접적인 원인임을 확인하기 위하여 다음과 같은 실험을 하였다.

Fig. 3(a)와 같이 방사형의 비정질 실리콘 위에 Ni을 증착을 시키고 약 70 μm 정도 뒤에 Pd을 증착을 시키면, Pd-MILC에 의해 발생하는 stress는 Ni이 증착되어 있는 영역을 향해 집중될 것이다. 따라서 Ni-MILC가 향상되는 정도가 더 커질 것으로 예상할 수 있다. 또한 Fig. 3(b)와 같이 tensile stress가 분산되는 방향으로 Ni을 증착시키면 Pd-MILC에 의해 향상되는 Ni-MILC의 정도가 크지 않을 것으로 예측할 수 있다.

550°C에서 2시간동안 열처리한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. (a)와 (c)는 기하학적 형상을 주지 않아 stress의

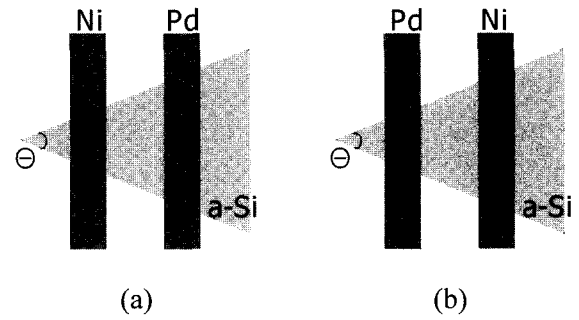


Fig. 3. Schematic drawing of Pd assisted Ni MILC showing. (a) Pd-MILC induced stress will be concentrated, and (b) Pd-MILC induced stress will be dispersed.

집중 및 분산이 없도록 하는 동시에 시편간의 편차를 고려할 수 있도록 제작한 reference 시편이며 (b)와 (d)가 stress의 집중 효과를 확인할 수 있도록 제작한 시편의 광학 사진이다.

Fig. 4(b)에서 볼 수 있듯이 Pd-MILC가 일어나면서 발생하는 tensile stress가 집중되도록 한 경우에는 Pd-MILC에 의해 Ni-MILC가 크게 향상되어 같은 시간(2시간)동안 29 μm가 결정화 되었다. 이는 stress의 집중이 없는 Fig. 4(a)의 경우 22 μm가 결정화된 것에 비해 약

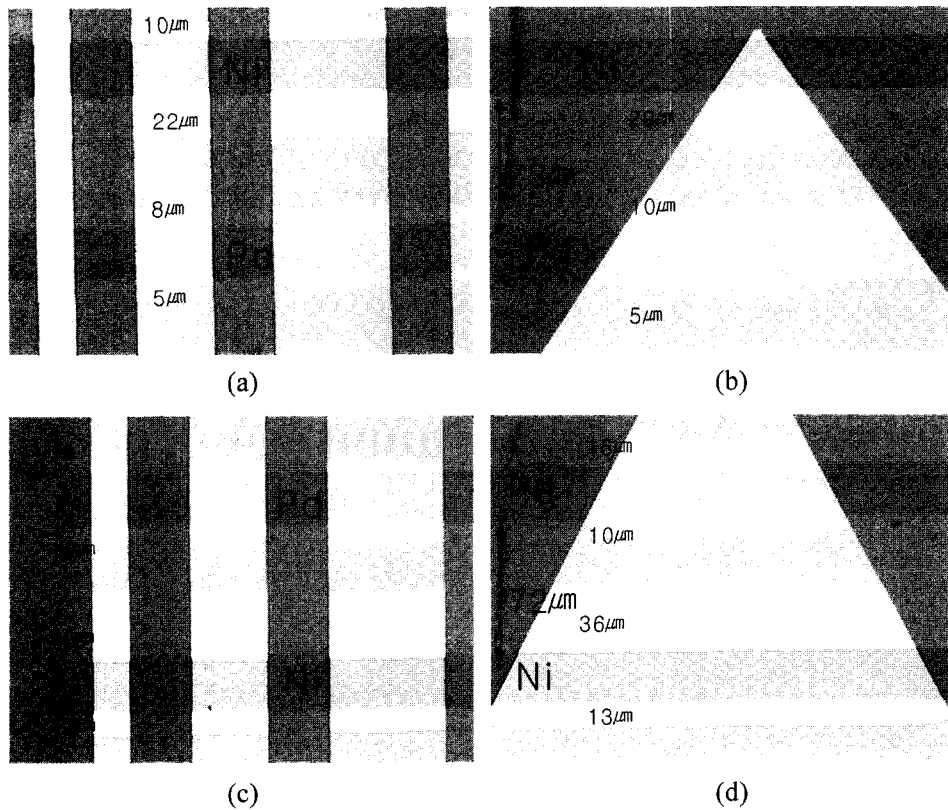


Fig. 4. Optical microscope images of Pd assisted Ni-MILC after 2hr annealing at 550°C. (a) and (b) reference samples, and (c) Pd-MILC induced tensile stress is concentrated. (d) Pd-MILC induced tensile stress is dispersed.

30% 더 빠른 성장을 보인 것이다. 이 때 Fig. 4(b)의 경우 결정화 거리가  $29\ \mu\text{m}$ 였는데 이는 Ni-MILC의 중간을 측정하는 것이다. 비정질 실리콘 active의 edge를 따라서 결정화된 거리를 측정해보면  $27\ \mu\text{m}$ 가 결정화되었음을 알 수 있는데 이는 Pd-MILC가 진행될 때 stress가 가운데로 집중되었기 때문이라고 생각된다. 하지만 정확한 stress의 집중 혹은 분산 형태는 밝혀진 바가 없기 때문에 이러한 stress 집중의 형태는 더 연구가 되어야 한다고 생각된다.

그에 반해 Pd-MILC에 의해 발생하는 tensile stress가 분산되도록 기하학적 형상을 갖도록 한 Fig. 4(d)의 경우, stress의 분산이 없는 Fig. 4(c)의 경우보다 Ni-MILC의 향상 정도가 적을 것으로 예상하였으나 이번 실험 결과에서는 같은 거리를 결정화한 것으로 나타났다.

또한 비정질 실리콘의 active의 각도( $\theta$ )에 따라서는 Ni 이나 Pd만을 증착하였을 경우와 마찬가지로 Ni-MILC의 향상 정도에는 차이가 나지 않았다.

Ni-MILC가 진행될 때 추가적인 tensile stress field는 비정질 실리콘과 실리사이드( $\text{NiSi}_2$ ) 사이에서 발생하는 반응, 즉 비정질 실리콘 간의 결합을 끊고 실리사이드 표면으로의 이동 및 흡착 반응을 돕는다고 추측된다. 따라서 추가적인 tensile stress가 존재하면 일차적으로 Ni-MILC rate이 향상되고 그 stress가 집중이 되거나 분산이 되는 것은 이차적인 것으로, 부가적인 향상을 가져온다고 생각할 수 있다.

Pd-MILC에 의해 발생한 stress는 비정질 실리콘이 휘어져 있어 Ni-MILC의 계면이 Pd-MILC의 계면과 평행하지 않은 경우에도 Ni-MILC rate을 향상시킴을 확인할 수 있었는데 이를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8(a)에는 Pd-MILC에 의해 향상되는 Ni-MILC와 그 좌측에는 Pd-MILC에 의해 향상되지 않는 Ni-MILC가 동시에 보이는데 Pd-MILC에 의해 향상되는 Ni-MILC의 경우에는  $10\ \mu\text{m/hr}$ 의 결정화 속도를 보이는 반면 향상되지 않은 경우에는 그 절반 밖에 되지 않는  $5\ \mu\text{m/hr}$ 의 결정화 속도를 보였다. 이 시편을 한 시간 추가 열처리 한 것이 Fig. 5(b)인데 Pd-MILC에 의해 향상되는 Ni-MILC의 경우에는  $7.5\ \mu\text{m/hr}$ 의 결정화 속도를 보이고 Pd-MILC에 의해 향상이 되지 않은 경우는  $5\ \mu\text{m/hr}$ 의 결정화 속도를 보여 Ni-MILC와 Pd-MILC의 거리가 짧아짐에 따라 결정화 속도가 빨라졌다. 이를 통해 Ni-MILC rate의 향상은 Pd-MILC에 의해 발생한 tensile stress field의 전파 때문임을 확인할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 Pd MILC에 의해 Ni MILC rate이 크게 향상되는 이유를 실리콘 active의 형태를 이용하여,

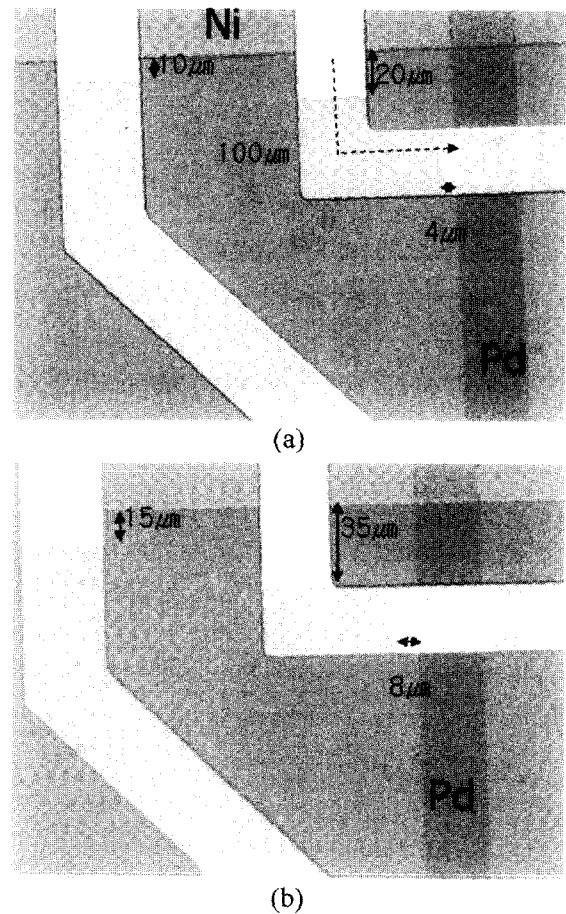


Fig. 5. Optical microscope images of vertical interface of Ni-MILC and Pd-MILC (a) After  $550^\circ\text{C}$ , 2 hr annealing, and (b) after  $550^\circ\text{C}$ , 1 hr additional annealing.

Ni-MILC 속도의 향상의 원인이 Pd-MILC에 의해 발생한 tensile stress임을 확인하였다.

비정질 실리콘의 폭이 점차적으로 감소하는 방향으로 Pd-MILC를 진행시켜 tensile stress를 집중시키면 그에 의해 향상되는 Ni-MILC rate이 더 크게 향상됨을 통해 tensile stress이 Ni-MILC rate 향상에 직접적인 원인을 증명하고, Ni-MILC의 계면과 Pd-MILC의 계면이 평행하지 않은 경우에도 Ni-MILC rate이 향상됨을 통해 stress의 전파에 의해 Ni-MILC rate이 향상됨을 다시 한 번 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. K. Nakazawa, J. Appl. Phys., **69**(3), 1703(1991).
2. H. Kuriyama, S. Kiyama, S. Noguchi, T. Kuwahara, S. Ishida, T. Nohda, K. Sano, J. Iwata, S. Tsuda and S. Nakano, IEDM 1991 Tech. Dig., 565 (1991).
3. S. W. Lee and S. K. Joo, IEEE Electron Device Lett., **17**(4), 160 (1996).

4. S. W. Lee and Y. C. Jeon and S. K. Joo Appl. Phys. Lett., **66**(13), 1671, (1995).
5. Tae-Hyoung Ihn, Tae-Kyung Kim, Byung-Il Lee and Seung-Ki Joo, Microelectronics Reliability **39**, 53 (1998).
6. Zhinguo Meng, Mingxiang Wang and Man Wong, **47**(2), 404 (2000).
7. M. Man Wong, J. Jhonghe Jin, G. A. Gururaj A. Bhat, P. C. Philip C. Wong and H. S. Hoi Sing Kwok, IEEE Trans. Electron Devices, **47**, 1061 (2000).
8. S. -W. Lee, B. -I. Lee, T. -K. Kim and S. -K. Joo J. Appl. Phys., **85**(10), 7180 (1999).
9. M. J. Aziz, P.C. Sabin and G.-Q Lu, Phys. Rev. B, **44**(18), 9812 (1991).
10. E. Nygren, M. J. Aziz, D. Tunbull, J. M. Poate, D.C. Jacobson and R. Hull, Appl. Phys. Lett. **47**(3), 232 (1985).
11. G. Q Lw, E. Nygren, M.J. Aziz, J. Appl. Phys. **70**(10), 5323 (1991).