

## MILC 성장 속도에 비정질 실리콘의 기하학적 형상이 미치는 영향

김영수<sup>†</sup> · 김민선 · 주승기  
서울대학교 재료공학부

### The Effect of Geometric Shape of Amorphous Silicon on the MILC Growth Rate

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

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

(2004년 5월 31일 받음, 2004년 7월 1일 최종수정본 받음)

**Abstract** High quality polycrystalline silicon is very critical part of the high quality thin film transistor(TFT) for display devices. Metal induced lateral crystallization(MILC) is one of the most successful technologies to crystallize the amorphous silicon at low temperature(below 550°C) and uses conventional and large glass substrate. In this study, we observed that the MILC behavior changed with abrupt variation of the amorphous silicon active pattern width. We explained these phenomena with the novel MILC mechanism model. The 10 nm thick Ni layers were deposited on the glass substrate having various amorphous silicon patterns. Then, we annealed the sample at 550°C with rapid thermal annealing(RTA) apparatus and measured the crystallized length by optical microscope. When MILC progress from narrow-width-area(the width was  $w_2$ ) to wide-width-area(the width was  $w_1$ ), the MILC rate decreased dramatically and was not changed for several hours(incubation time). Also the incubation time increased as the ratio,  $w_1/w_2$ , get larger. We can explain these phenomena with the tensile stress that was caused by volume shrinkage due to the phase transformation from amorphous silicon to crystalline silicon.

**Key words** MILC(metal induced lateral crystallization), incubation time, amorphous silicon pattern width, tensile stress

#### 1. 서 론

현재 상용화되어 있는 LCD(liquid crystal display)는 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 고화질, 고속 특성과 함께 대면적화를 추구하는 추세에 따라 전자 이동도가 우수한 다결정 실리콘 박막 트랜지스터에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 차세대 디스플레이 소자로 주목 받고 있는 OLED(organic light emitting diode)의 경우에는 전류구동으로 동작하기 때문에 다결정 박막 트랜지스터의 필요성은 어느 때보다도 절실한 실정이다.

현재 다결정 실리콘 박막트랜지스터를 제조하는 공정에는 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 600°C 이상의 고온에서 실리콘을 장시간 열처리하여 다결정 실리콘을 형성하는 고상 결정화(solid phase crystallization,

SPC) 공정이다. 이는 비교적 간단한 공정과 장비만으로 가능하다는 이점이 있지만 공정온도가 매우 높기 때문에 고가의 석영(quartz)기판을 사용해야하고 열처리 시간도 오래 걸린다는 단점이 있다.<sup>1)</sup> 그 뿐만 아니라 소자의 제작에 드는 비용에 비해 전기적 특성도 비교적 열악한 편이다.<sup>2)</sup> 다른 방법에는 레이저를 이용하는 방법으로 SPC에 비해 낮은 결정화 온도가 가능해 저가의 유리 기판을 사용할 수 있고 높은 전자 이동도를 얻을 수 있는 장점이 있다. 하지만 레이저 장비가 워낙 고가를 요구하고, 대면적의 기판을 균일한 다결정 실리콘을 얻을 수 없다는 문제점이 있다.<sup>3)</sup>

최근에 개발된 금속유도 측면 결정화(metal induced lateral crystallization)는 실리콘 박막의 결정화 온도를 낮추는 많은 연구 중에 가장 성공적인 방법이다. Pd과 Ni 같은 금속을 증착한 후 열처리를 하면 catalytic phase transformation으로 500°C 이하의 저온에서도 결정화가 가능하고 금속유도 결정화(metal induced crystallization, MIC)와 달리 금속 오염이 없는 양질의 다결정 실리콘을 얻을 수 있어 고성능 polycrystalline silicon TFT를

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

제작할 수 있다.<sup>4,5)</sup>

이러한 MILC 현상을 이용한 TFT 제작에 관한 연구는 그동안 전 세계적으로 많이 연구되어 왔으나<sup>6-8)</sup> 이제까지 이러한 MILC의 근본 메커니즘에 대해서는 정확하게 알려지지 않았다. 본 연구에서는 비정질 실리콘의 형태가 급격하게 변함에 따라 MILC의 진행 양상이 달라지는 것을 관찰, 분석하고 이 현상을 새로운 MILC 메커니즘을 통해 설명하였다.

## 2. 실험

코닝 1737 유리 기판 위에 300 nm의 SiO<sub>2</sub>막을 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition)를 이용하여 증착한 후 다이시일레인(Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) 가스를 소스 가스로 사용하여 LPCVD(low pressure chemical vapor deposition)방법으로 비정질 실리콘 막을 50 nm 증착하였다. 증착 온도는 450°C, 증착 시 공정 압력은 200 mTorr로 진행하였다. 사진 식각 공정과 건식 에칭을 이용하여 다양한 형태의 비정질 실리콘 섬(island) 패턴을 형성하였다. 10 nm의 Ni 금속 층을 스퍼터링 방법으로 비정질 실리콘 위에 증착시킨 후에 lift-off 법을 사용하여 원하는 부분에만 Ni이 증착되도록 하였다. 열처리는 2단계로 진행하였는데 450°C에서 니켈 실리사이드를 형성한 후에 550°C에서 1시간 간격으로 RTA(Rapid Thermal annealing)을 이용하여 열처리하였다. MILC 결정화 길이는 Nomarski 광학현미경으로 측정하고 미세조직은 SEM을 이용하여 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 1(a)와 같이 비정질 실리콘의 폭이 급격하게 변하는 패턴에 Ni를 선택적으로 증착하여 열처리한 결과를 Fig. 1(b)에 나타내었다. 열처리는 급속 열처리(rapid thermal annealing, RTA)로 550°C에서 진행하였으며 1시간 간격으로 성장 길이를 광학 현미경으로 측정하였다.

폭이 넓은 영역에서 폭이 좁아지는 영역으로 갈 때 MILC rate이 느려지지 않았으나 좁아지는 영역에서 다시 넓어지는 경우에는 폭의 비에 따라 속도가 크게 느려지는 현상이 발견되었다. 넓은 폭(W<sub>1</sub>)과 좁은 폭(W<sub>2</sub>)의 비를 R이라고 정의하면 R의 값이 5보다 커지는 경우에는 열처리를 하여도 더 이상 결정화가 진행되지 않았는데 이러한 현상을 잠복기라고 칭하였다. Fig. 1(b)에서 볼 수 있듯이 R이 증가함에 따라 잠복기가 길어졌다. R값이 1.2일 때와 4인 경우를 보면 폭이 좁아졌다가 넓어졌음에도 결정화 속도(MILC rate)는 모두 약 3 μm/hr로 일정하게 유지되었다.

MILC가 처음부터 폭이 좁은 부분에서 시작이 되어 넓

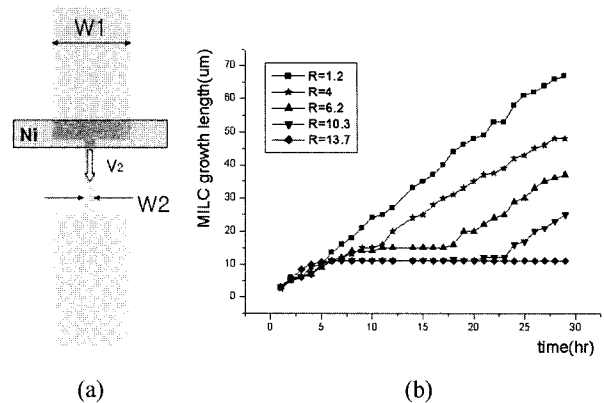


Fig. 1. (a) Schematic drawing of the experiment, and (b) MILC growth length vs. annealing time with different W1/W2 ratio.

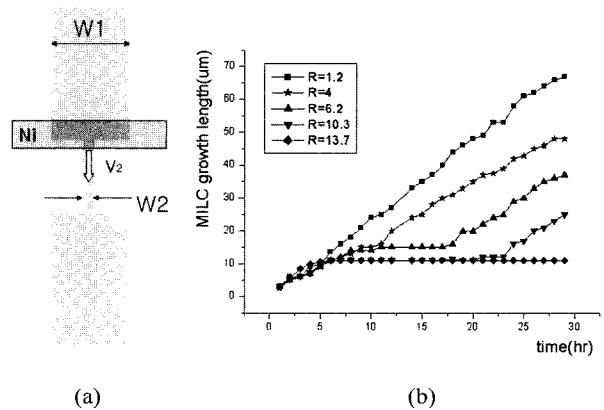


Fig. 2. (b) Schematic drawing of the experiment, and (b) MILC growth length vs. annealing time with different W1/W2 ratio.

어져도 같은 현상이 일어나는지 알아보기 위해 Fig. 2(a)와 같이 Ni를 폭이 좁은 부분에 증착하여 열처리를 해 보았다. 그 결과 Fig. 2(b)에서 볼 수 있는 것과 같이 역시 잠복기가 나타났으며 Fig. 1(b)에서 확인한 결과와 같이 R이 5 이상인 경우에 잠복기가 나타났음을 알 수 있다.

두 경우 모두 R이 클수록 잠복기가 길어졌는데 R과 잠복기의 관계를 Fig. 3에 나타내었다. 이 때 주의해서 볼 점은 비정질 실리콘의 폭이 갑자기 커지는 순간에 잠복기가 나타나는 것이 아니라 넓어지기 수 μm전에 MILC 진행이 멈춘다는 것이다. 이에 관해서는 잠시 후에 따로 언급하도록 하겠다.

좁은 폭에서 넓어질 때 발견된 잠복기를 지나면 MILC rate이 잠복기가 나타나기 전과 같은 3 μm/hr로 결정화가 이루어진다. 그러나 이때에는 일반적인 Ni-MILC와 다른 결정화 양상을 보이게 된다. Ni-MILC는 결정화 면

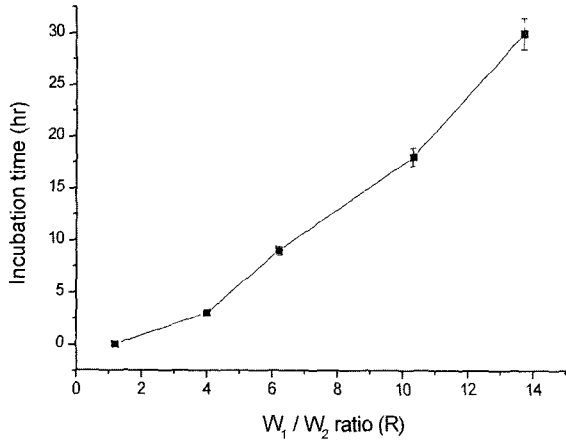
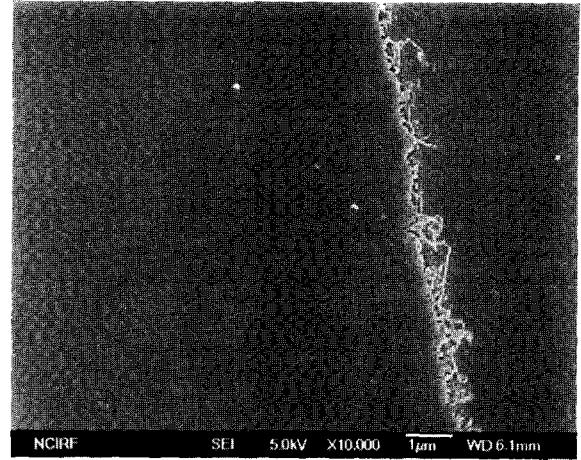


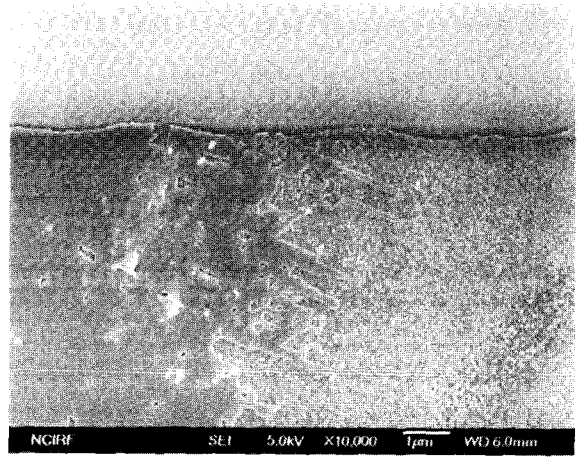
Fig. 3. Incubation time vs. R.

에 성장 방향에 수직으로 평행한 면을 형성하면서 결정화 되는 것이 일반적이나<sup>9)</sup> 잠복기를 지난 후의 성장은 마치 나뭇가지와 같이, 결정화 선단이 지나간 후에 결정화 되지 않고 비정질 상태로 남겨진 영역이 남아있게 된다. Fig. 4(a)에서 볼 수 있듯이 급격하게 성장 방향으로 성장하여, 성장 방향의 측면에는 결정화가 이루어지지 않는 비정상적인 결정화 경향을 보인다. 특히 이렇게 폭발적으로 성장한 후에는 MILC 진행 방향에 수직 방향으로 결정화가 주로 일어나 결정화 되지 않은 영역들이 결정화되게 되는데 이 때문에 성장 길이를 측정할 때 기존 성장 방향으로는 거의 결정화가 되지 않은 듯이 나타나게 된다. Fig. 2(b)에서 두 번째 평탄한 면이 나타나는 것이 이러한 이유이다. 이를 MILC 길이 성장에 대한 두 번째 잠복기(잠복기 B)라고 칭하였다. 두 번째 잠복기가 지난 후에 MILC 길이 성장 방향으로의 결정화 속도는 기존 MILC 결정화 속도와 같은  $3 \mu\text{m/hr}$ 가 되었다.

Fig. 5에 첫 번째 잠복기에 의해 MILC 결정화 선단을 주사전자현



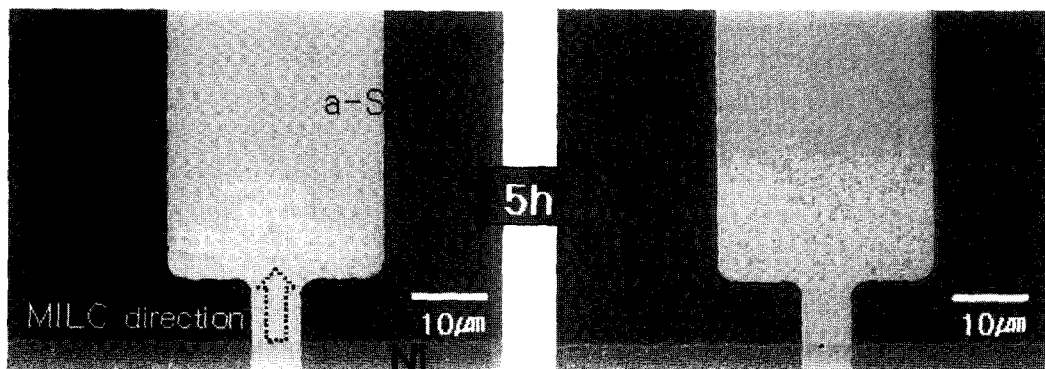
(a)



(b)

Fig. 5. (a) Normal Ni-MILC leading front SEM image, and (b) Ni-MILC leading front during incubation A .

미경(SEM)으로 관찰한 결과를 일반적인 Ni-MILC의 성장과 비교하여 나타내었다. Fig. 5(a)는 일반적인 Ni-MILC의 결정화 선단을 관찰결과로, 너비가  $500 \text{ \AA}$  정도



(a)

(b)

Fig. 4. Optical microscopy image (a) explosive crystallization after incubation A, and (b) incubation B.

의 매우 좁은 결정들이 70도 내지 110도의 특정한 각도를 이루면서 성장하였음을 확인할 수 있다.<sup>9)</sup> 이에 반해 Fig. 5(b)에 보이는 잠복기에서 성장이 정지된 결정은 그 너비가 1800Å으로 4배에 가까울 정도로 굵은 결정들이 성장해있음을 확인할 수 있다. 이렇게 굵은 결정의 성장은 MILC의 성장 기구와 관련 있을 것으로 생각된다.

Ni-MILC는 NiSi<sub>2</sub>상이 비정질 실리콘 쪽으로 전진하면서 뒤에 결정질 실리콘을 형성시키는 급속 촉매 결정화 반응이다. NiSi<sub>2</sub>상(phase) 앞의 비정질 실리콘의 밀도는 2.29 g/cm<sup>3,10,11)</sup>로 밀도가 2.33 g/cm<sup>3</sup>의 결정질 실리콘보다 작기 때문에 결정화된 부분은 비정질 실리콘에 비해 부피 수축이 발생하게 된다. 이러한 사실은 AFM을 통하여 실제로 확인할 수 있는데 MILC에 의해 결정화된 영역과 비정질 영역을 관찰한 AFM 이미지를 Fig. 6(a)에 나타내었다.

결정질 실리콘과 NiSi<sub>2</sub>의 격자상수는 각각 5.43, 5.42 Å으로 0.4% 밖에 차이가 나지 않으므로 거의 동일하다고 할 때 비정질 실리콘과의 부피 수축으로 인한 스트레스가 실리사이드와 비정질 실리콘 표면에 발생하게 된다. 부피가 큰 비정질 실리콘과 실리사이드 사이의 계면에는 tensile stress가 형성되고 그에 따라 결정질 실리콘

과 실리사이드 계면에는 compressive stress가 형성하게 된다. 비정질 실리콘의 결정화에 있어서 tensile stress는 비정질 실리콘의 Si-Si 결합을 쉽게 끊을 수 있게 해주어 SPC의 경우에 결정화 속도를 향상 시켜준다고 널리 알려져 있으며<sup>12,13)</sup> 이는 MILC에도 마찬가지로 작용할 것으로 생각된다. 즉, 비정질 실리콘의 Si-Si이 쉽게 끊어지고 비정질 실리콘과 실리사이드와 계면으로 실리콘 흡착을 돕게 되면 MILC 진행이 더 빠르게 일어날 수 있다.

그러나 앞의 실험과 같이 갑자기 실리콘의 영역이 갑자기 넓어지게 되면 비정질 실리콘과 실리사이드 사이의 계면에 작용한 tensile stress가 넓은 실리콘 영역으로 분산되어 MILC가 진행되기에 충분한 정도의 stress를 형성하지 못하게 된다. 따라서 tensile stress가 분산되기 시작하는 수 μm전부터 MILC 속도가 느려지게 되다가 결국 MILC 성장에 충분하지 못한 stress 수준이 되면 MILC가 중단되는 것으로 생각된다. 이렇게 불충분한 stress로 인해 결정화가 서서히 일어나게 될 때에는 결정화 양상이 변화될 것으로 예상할 수 있다. 일반적인 Ni-MILC는 결정화가 {110}면에서 <111>방향으로 성장하다가 실리사이드가 분해되면서 또 다른 <111>방향으로 2차 성장을 하게 되는데<sup>14)</sup> stress가 감소하면 이러한 현상의 발생 빈도가 현저히 낮아질 것으로 생각할 수 있다. 따라서 Fig. 5에서 보인 것과 같은 2차 성장이 거의 일어나지 않고 한 방향으로의 성장이 지배적으로 나타나게 되는 것으로 생각된다. 따라서 한 방향으로 진행된 결정들이 모여 다발을 형성, 폭이 넓은 결정이 성장한 것처럼 보이게 된다고 생각된다. 또한 잠복기를 지나면 이렇게 거대해진 소수의 결정질에서 MILC가 여러 <111>방향으로 진행되기 때문에 Fig. 4에서 나타난 것과 같이 나뭇가지와 같은 형태로 성장하는 것으로 생각된다.

잠복기 동안 중단되었던 결정화는 결정화 진행에 충분한 tensile stress가 축적이 되면 다시 진행되는데 이러한 stress의 축적은 NiSi<sub>2</sub>와 비정질 실리콘 사이에 비정질 실리콘의 확산으로 발생하는 것으로 추정하고 있으나 이에 관한 더 자세한 연구가 현재 진행 중이다.

4. 결 론

본 연구에서는 MILC가 진행되는 비정질 실리콘의 형태에 따라 MILC 양상이 달라지는 현상에 대해 고찰하였다. MILC가 진행될 때 비정질 실리콘의 폭이 갑자기 5배 이상 넓어지게 되면 성장이 잠시 멈추는 잠복기가 두 번 나타나게 된다. 첫 번째 잠복기는 폭이 급격하게 넓어지는 곳에서 발생하는데 넓어지는 비율이 높을수록 잠복기가 길어졌다. 이러한 현상은 MILC가 진행될 때 구동력으로 작용하는 비정질 실리콘과 실리사이드 사이의

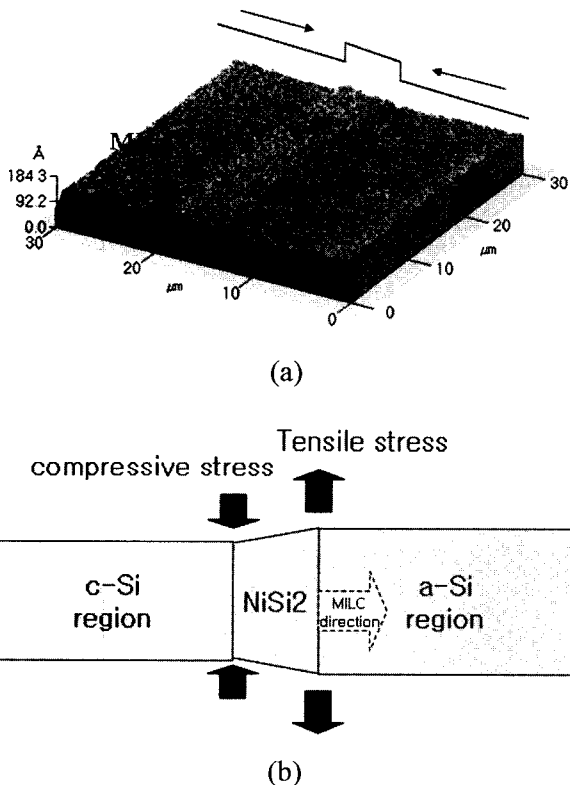


Fig. 6. (a)AFM image of Si surface in crystallized and amorphous region, and (b) schematic diagram of stress caused by volume shrinkage.

계면에서 tensile stress가 넓은 영역으로 퍼지기 때문에 그 구동력을 잃어 느려지는 현상이라고 생각된다. 잠복기 A를 지난 후 폭발적으로 MILC가 진행되는데 결정화도가 많이 낮게 진행된다. 그 후의 MILC 성장은 성장 방향으로 보다는 결정화 시키지 못한 부분을 채우는 방향으로 진행되어 성장 방향으로는 거의 성장하지 않는 잠복기 B가 나타나게 된다. 이러한 현상들은 MILC가 진행되면서 실리콘사이드와 비정질 실리콘, 실리콘사이드와 결정질 실리콘 사이에 발생하는 tensile stress와 compressive stress로 잘 설명할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. K. Nakazawa, J. Appl. Phys., **69**(3), 1703 (1991).
2. T. J. King and K. C. Saraswat, IEEE Electron Device Lett., **13**(6), 309 (1992).
3. H. Kuriyama, S. Kiyama, S. Noguchi, T. Kuwahara, S. Ishida, T. Nohda, K. Sano, H. Iwata, S. Tsuda and S. Nakno, IEDM 1991 Tech. Dig., 563 (1991).
4. S. W. Lee and S. K. Joo, IEEE Electron Device Lett., **17**(4), 160 (1996).
5. S. W. Lee and Y. C. Jeon, and S. K. Joo Appl. Phys. Lett., **66**(13), 1671 (1995).
6. Tae-Hyoung Ihn, Tae-Kyung Kim, Byung-II Lee, and Seung-Ki Joo, Microelectronics Reliability **39**, 53 (1998).
7. Zhinguo Meng, Mingxiang Wang, and Man Wong, IEEE Trans. Electronic Devices, **47**(2), 404 (2000).
8. 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).
9. S. W. Lee, Ph. D Thesis, Seoul National University (1996).
10. Z. Remes, M. Vanecek, A. H. Manhan, and R. S. Crandall, Phys. Rev. B **56**, 12710 (1997).
11. A. H. M. Smets, W. M. M. Kessels, and M. C. M. van de Sanden, Appl. Phys. Lett. **82**, 1547 (2003).
12. E. Nygren, M. J. Aziz, and D. Tunbull, J. M. Poate, D.C. Jacobson, and R. Hull, Appl. Phys. Lett. **47**(3), 232 (1985).
13. G. Q. Lw, E. Nygren, M. J. Aziz, J. Appl. Phys. **70** (10), 5323 (1991).
14. C. Hayzelden and J. L. Batsone, J. Appl. Phys. **73**(12), 8279 (1993).