

인접 Pd-MILC가 Ni-MILC에 미치는 영향

김영수[†] · 김민선 · 오현욱 · 최성희 · 주승기

서울대학교 재료공학부

(2004년 3월 25일 접수; 2004년 7월 16일 승인)

Effect of Adjacent Pd on Ni-MILC

Young-Su Kim,[†] Min-Sun Kim, Hyun-Uk Oh, Sung-Hee Choi, and Seung-Ki Joo

Division of Material Science and Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

(Received March 25, 2004; Accepted July 16, 2004)

초 록

본 연구에서는 Palladium-Metal Induced Lateral Crystallization(Pd-MILC)과 Nickel-Metal Induced Lateral Crystallization(Ni-MILC)을 동시에 사용하여 Ni-MILC의 결정화 속도를 향상시키는 방법을 제안하였다. 이 방법을 사용하여 기존의 Ni-MILC 보다 거의 4배나 빠른 결정화 속도인 15 $\mu\text{m}/\text{h}$ 를 얻을 수 있었다. Ni과 Pd의 간격이 좁을수록 Ni-MILC의 결정화 속도가 더 빨라졌으며 Pd 두께, Ni 두께에, 비정질 실리콘 너비와는 큰 의존관계가 없었다. 하지만 Pd이 Ni에 의해 덮혀져 Pd-MILC가 일어나지 못하는 경우에는 이러한 현상이 발견되지 않았다. 이는 Pd 물질 그 자체가 Ni-MILC를 향상시키는 것이 아니라 Pd MILC가 진행되면서 발생하는 tensile stress에 의해 향상되는 것임을 의미한다. 이와 같은 현상들을 새로운 MILC mechanism으로 설명하였다.

ABSTRACT

In this study, we proposed the novel method that can crystallize the amorphous silicon by adjacent Pd-MILC enhanced Ni-MILC. With this method, the MILC rate was about 15 $\mu\text{m}/\text{h}$ at 550°C which is four times faster than conventional MILC rate. The crystallization rate increased rapidly with the spacing between Ni and Pd decreased. And it was independent on Ni and Pd layer thickness and amorphous silicon active width. However, when Pd was capped by a Ni layer, there's no enhancement on Ni-MILC. This phenomenon implies that the enhancement of Ni-MILC rate comes from not Pd material itself but Pd-MILC induced tensile stress. We can explain these phenomena with a novel MILC mechanism.

Key words : Pd-MILC, Ni-MILC, Tensile stress, Novel MILC mechanism

1. 서 론

최근 평판 디스플레이에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있는 가운데 빠른 응답속도, 높은 해상도를 갖는 LCD의 수요가 급증하고 있는 실정이다. 이러한 LCD를 구현하기 위해서는 현재 사용하고 있는 비정질 실리콘 TFT 대신에 다결정 실리콘 TFT를 사용하는 것이 필수적이다. LCD 뿐만 아니라 현재 활발히 연구 중인 OLED의 경우에는 전류구동을 하는 소자이기 때문에 다결정 실리콘 TFT의 필요성은 매우 절실한 실정이다. 저가의 유리를 사용할 수 있는 저온에서도, 대면적의 비정질 실리콘을 결정화할 수 있는 금속 유도 측면 결정화(MILC, Metal Induced Laterl Crystallization) 기술은 SPC(Solid Phase

Crystallization), ELA(Excimer Laser Annealing)과 MIC(Metal Induced Crystallization) 같은 다른 여러 기술과 비교해 공정 가격 측면에서나 TFT 성능에서 월등함 보이고 있다.¹⁾

MILC를 일으키는 금속에는 Ni,¹⁾ Pd²⁾가 보고되었으나 이 중에서 현재까지 TFT 소자로 연구되고 있는 것은 거의 대부분이 Ni-MILC를 사용하여 제작되고 있다. 그 이유는 Pd-MILC를 이용한 결정화의 경우에는 결정질 내에 무수히 많은 쌍정 결합이 존재하기 때문에 TFT 특성이 좋지 않은 반면, Ni-MILC에 의해 결정화된 다결정 실리콘은 쌍정이 거의 없어 우수한 특성의 다결정 실리콘 TFT 소자를 제작할 수 있기 때문이다.³⁻⁵⁾

이번 연구에서는 Pd-MILC가 Ni-MILC에 근접하여 발생할 때 Ni-MILC rate가 크게 향상되는 현상을 이용하여, 비정질 실리콘의 결정화 온도를 낮추고 결정화 시간을 단축시킬 수 있는 방법에 대해 연구하였다. 또한 이러한 현상을 새로운 MILC 모델에 적용하여 설명하였다.

[†]Corresponding author : Young-Su Kim
E-mail : hde226868@empal.com
Tel : +82-2-880-7442 Fax : +82-2-887-8791

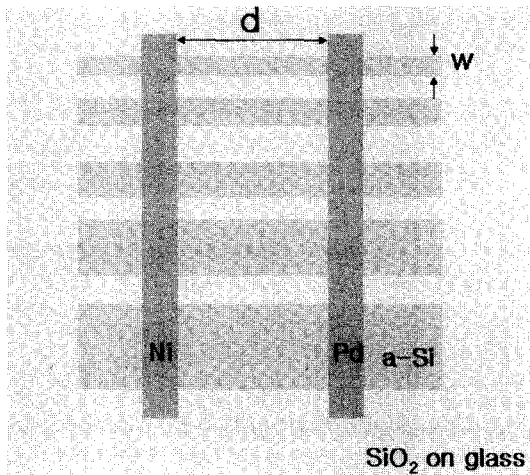


Fig. 1. Schematic diagram of experiment. The Ni-Pd spacing, d , varies from $30\ \mu\text{m}$ to $600\ \mu\text{m}$ and the a-Si active width, w , varies from $12\ \mu\text{m}$ to $68\ \mu\text{m}$.

2. 실험방법

코닝 1737 유리 기판 위에 $3000\ \text{\AA}$ 의 SiO_2 막을 PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)를 이용하여 증착한 후 다이시일레인(Si_2H_6) 가스를 소스 가스로 사용하여 LPCVD(Low Pressure Chemical Vapor Deposition) 방법으로 비정질 실리콘 막을 $500\ \text{\AA}$ 증착하였다. 증착 온도는 450°C , 증착 시 공정 압력은 $200\ \text{mTorr}$ 로 진행하였다. 사진 식각 공정과 건식 에칭을 이용하여 Fig. 1과 같이 비정질 실리콘이 $12\ \mu\text{m}$, $14\ \mu\text{m}$, $18\ \mu\text{m}$, $38\ \mu\text{m}$, $47\ \mu\text{m}$, $62\ \mu\text{m}$, $68\ \mu\text{m}$ 와 같이 다양한 너비를 갖는 섬 형태를 갖도록 만들었다. 다양한 두께의 Ni 금속 층을 스퍼터링 방법으로 비정질 실리콘 위에 증착시킨 후에 lift-off 법을 사용하여 원하는 부분에만 Ni이 증착되도록 하였다. 이미 증착된 Ni과 평행하게 여러 간격($d=75\ \mu\text{m}\sim 600\ \mu\text{m}$)을 두면서 Pd를 증착하였는데 이때에도 역시 lift-off법을 사용하였다. 다양한 시간과 온도로 진공 퍼니스에서 열처리하여 MILC가 진행되도록 하였다. 성장 길이는 Nomarski 현미경으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 2에 550°C 에서 열처리 시간을 1시간 간격으로 늘려가면서 광학 현미경으로 측정한 MILC growth length를 나타내었다. Conventional Ni-MILC 경우 550°C , intrinsic 비정질 실리콘을 결정화하는 속도는 $3.6\ \mu\text{m}/\text{h}^{(9)}$ 인 것에 반해 Pd를 인접하여 증착한 후에 Ni-MILC를 진행시키면 결정화 속도가 최대 $15\ \mu\text{m}/\text{h}$ 에 이르러 4배 이상 빠른 결정화속도를 보였다. 이러한 결정화 속도의 향상은 Ni과 Pd의 거리가 가까울수록 빨랐으며 거리가 멀어질수록 그 효

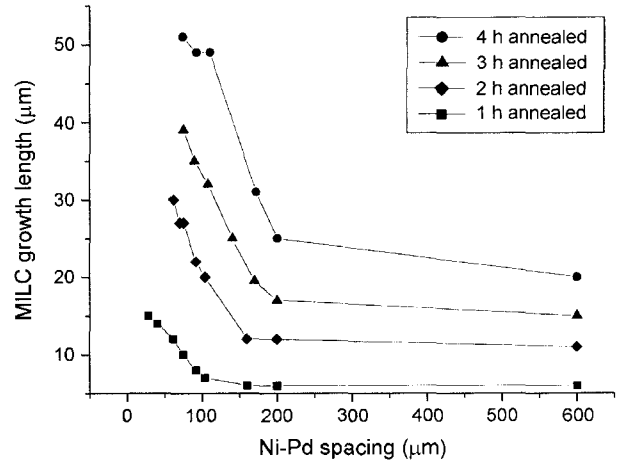


Fig. 2. MILC growth length at 550°C with increasing annealing time.

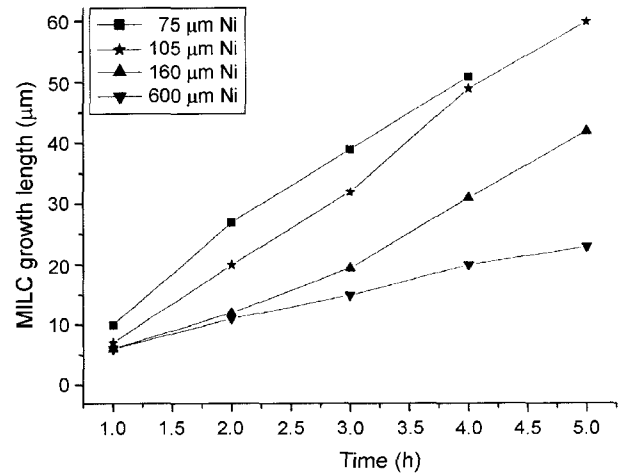


Fig. 3. MILC growth length at fixed temperature (550°C) and fixed Ni-Pd inter-spacing.

과가 급격하게 감소해 $200\ \mu\text{m}$ 이상 떨어져 있는 경우에는 그 효과가 나타나지 않았다. 또한 비정질 실리콘 active의 너비와 Ni, Pd layer의 두께에는 무관하였다.

이러한 Ni-MILC 결정화 속도의 향상은 MILC가 진행되면서 Ni-MILC 선단과 Pd-MILC의 선단이 가까워질수록 그 향상되는 정도가 더 커지는 것이 발견되었다. 이를 Fig. 3에 나타내었다. Ni-Pd 간의 간격이 $75\ \mu\text{m}$, $105\ \mu\text{m}$, $160\ \mu\text{m}$, $600\ \mu\text{m}$ 인 경우를 도시하였다. $75\ \mu\text{m}$ 떨어진 경우에는 $12.8\ \mu\text{m}/\text{h}$ 의 성장 속도를 보였는데 열처리 시간이 증가하여도 그 결정화 속도는 일정하였다. 하지만 $160\ \mu\text{m}$ 떨어진 경우에는 초기 1시간의 열처리 동안에는 Ni-Pd 간격이 $600\ \mu\text{m}$ (Pd의 영향이 없는 거리)일 때와 같은 속도인 $6\ \mu\text{m}/\text{h}$ 로 성장하다가 3시간 열처리 이후 거리가 가까워지자 Ni-Pd이 $75\ \mu\text{m}$ 떨어져 있던 경우와 거의 같은 속도인 $11.5\ \mu\text{m}/\text{h}$ 의 빠른 속도로 성장하게 되었다.

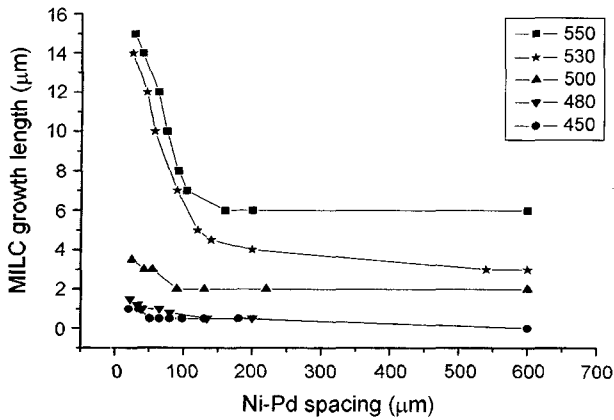


Fig. 4. Ni-MILC growth length with various temperature (2 h).

온도 별로 Pd이 Ni-MILC에 주는 영향을 조사한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 온도가 증가함에 따라 결정화 속도의 향상 폭이 커짐을 확인할 수 있었다. 500°C에서 Ni-MILC만 단독으로 일어날 경우의 결정화 속도는 1 μm/h 였지만 Pd에 의해 향상된 Ni-MILC의 경우에는 약 2 μm/h로 두 배가량의 증가를 보인 반면 550°C에서는 그 향상 정도가 매우 커, Ni-MILC 단독으로 일어날 때 1.5 μm/h에서 Pd에 의한 향상으로 인해 Ni-MILC 속도가 7 μm/h로 약 4.7배 향상되었다.

이러한 Ni-MILC의 향상이 Pd에 의한 것인지 Pd MILC에 의한 현상인지 알아보기 위하여 Fig. 5와 같이 실리콘에 Pd를 라인으로 증착한 후에 그 위에 Ni를 증착하여 Pd-MILC는 일어나지 못하도록 하였다.

550°C에서 2시간동안 열처리 한 결과 Pd이 있는 부분과 Pd이 없는 부분의 Ni-MILC의 속도가 모두 같아, 앞에서 보았던 것과 같은 Ni-MILC 속도의 향상이 나타나지 않았다. 이러한 현상은 Pd 물질 자체에 의한 향상이 아니라 Ni-MILC가 진행될 때 인접한 곳에서 Pd-MILC가 일

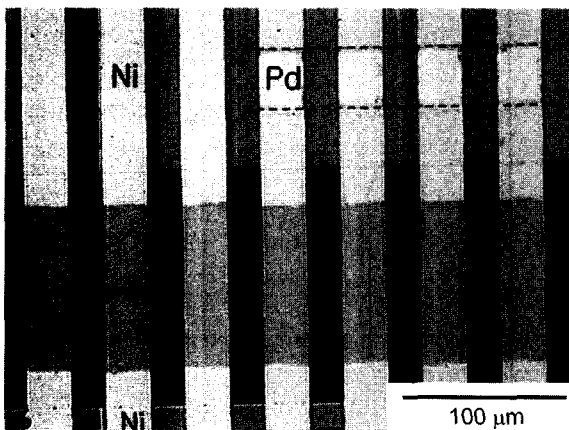


Fig. 5. Optical microscopy of Ni-MILC with adjacent Pd which is capped by a Ni layer.

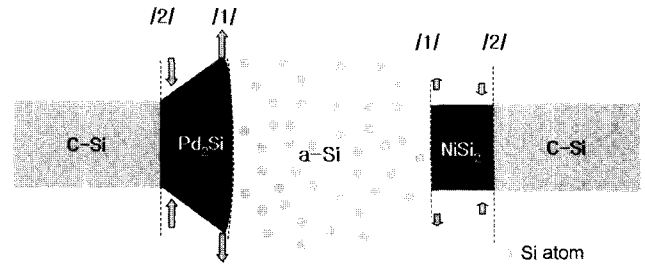


Fig. 6. A novel mechanism model of MILC phenomena.

어났기 때문에 발생한 것임을 의미한다.

Pd MILC가 Ni-MILC rate을 어떻게 향상시키는지를 설명하기 위해서 다음과 같은 MILC mechanism을 적용하였다. MILC 현상은 Fig. 6에 보인 바와 같이 3개의 flux를 통해 이뤄진다고 생각할 수 있다. 첫 번째 flux(F1)는 실리콘사이드와 결정질 실리콘 사이의 계면(이하 계면 1, 또는 /1/)에서 결정질 실리콘이 Si-Si 결합을 끊고 실리콘사이드 표면으로 이동 및 흡착하는 과정이고, 두 번째 flux(F2)는 실리콘사이드 상(phase) 내에서 metal 이온과 vacancy hopping에 의한 coupling에 관련된 flux이다. 마지막 flux(F3)는 실리콘사이드와 결정질 실리콘 사이의 계면(이하 계면 2, 또는 /2/)에서 실리콘 원자가 결정질 실리콘의 dangling bond와 epitaxially 결합하는 것이다. 여기서 전체적인 MILC rate을 결정하는 단계는 계면 1에서의 F1이라고 생각된다.

Ni-MILC 현상에서 NiSi₂라는 실리콘사이드가 형성⁷⁾되어 결정질 실리콘을 형성하는 것과 마찬가지로, Pd-MILC 현상은 Pd₂Si라는 실리콘사이드가 형성^{8,9)}되고 이 실리콘사이드가 결정질 실리콘을 향해 전진하면서 실리콘을 결정화시키는 일종의 촉매 상변화(catalytic phase transformation)이다. 이때 Pd₂Si 내에 존재하는 실리콘의 atomic density는 $2.363 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ 이고, 결정질 실리콘의 atomic density는 $4.993 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ 이다. 즉, 결정질 실리콘 내의 단위 부피당 실리콘의 개수가 Pd₂Si의 절반 밖에 되지 않는다. 따라서 실리콘사이드 내의 Pd atom들이 계면 2로부터 결정질 실리콘 방향으로 전진하고 나면, 남겨진 실리콘 원자들이 결정질 실리콘에 재배열되면서 큰 부피 수축을 일으키게 될 것이다. 이러한 큰 부피 수축은 실리콘사이드와 결정질 실리콘 사이의 계면(계면 2)에서 큰 compressive stress가 발생시키고, 이에 따라 tensile stress가 실리콘사이드와 결정질 실리콘의 계면(계면 1)에 걸리게 된다. 계면 2에서 유발된 stress의 존재는 Pd-MILC가 진행될 때 선단의 Pd₂Si가 초승달 형태로 휘어져 있음이 Lee et al.에 의해 이미 관찰된 바 있기 때문에 그 가능성이 충분하다고 할 수 있다.¹⁰⁾

이 Pd-MILC 계면 1에서 의해 발생한 tensile stress가 인접한 Ni-MILC의 계면 1에 영향을 줌으로써 NiSi₂ 앞의 결정질 실리콘간의 결합이 더 쉽게 끊어질 수 있게 해주고 실리콘 원자의 계면 1로의 흡착을 도와준다.

비정질 실리콘에서 tensile stress는 비정질 실리콘 간의

결합을 분해하고 결정질 실리콘으로의 이동을 향상시켜, SPE(Solid Phase Epitaxy)의 결정화 속도를 향상시킨다는 사실이 Aziz *et al.*에 의해 보고되었다.¹¹⁻¹³⁾ SPE는 실리콘이드 촉매 없이 비정질 실리콘을 결정화 시키는 방법인데, 비록 SPE는 실리콘이드에 의해 일어나는 결정화는 아니지만 tensile stress에 의한 실리콘 원자 간의 결합 분해와 실리콘 원자의 이동 촉진은 MILC에도 그대로 적용될 수 있는 것이다.

Pd-MILC에서 발생한 stress가 Ni-MILC에서 rate controlling step으로 여겨지고 있는 계면 1의 반응을 향상시키기 때문에 전체 Ni-MILC rate이 증가되는 것으로 생각된다. 그리고 앞의 Fig. 5에서 확인할 수 있었던 것처럼 Pd이 비정질 실리콘에 증착이 되어 있지만 Ni에 의해 덮여져 있어, Pd-MILC가 일어나지 못하게 되면 Ni-MILC 결정화 속도가 향상되지 않는 사실은 이러한 모델이 현상을 잘 설명하고 있음을 보여준다.

4. 결 론

본 연구에서는 Ni MILC 미치는 Pd MILC의 영향에 관해 고찰하였다. 550°C 2시간 열처리 할 경우 Ni-Pd 간격이 20 μm 떨어져 있는 경우에는 Ni MILC의 성장 속도가 4배 이상 가까이 향상되는 것이 관찰되었고, 열처리 온도가 높을수록 Ni-Pd 간격이 가까울수록 Ni MILC의 향상이 커지는 것이 관찰되었다. 비정질 실리콘 패턴의 너비와 Ni, Pd 금속 층의 두께와는 상관관계가 없었다. 또한 Ni층이 Pd층을 덮어 Pd-MILC가 일어나지 않으면 일어나지 않았는데 이러한 현상은 Ni MILC가 일어날 때 인접하여 Pd MILC가 일어나면 Pd MILC가 일어날 때 Pd MILC의 계면 1에서 발생한 큰 tensile 스트레스가 Ni MILC 계면 1에 작용하여 실리콘-실리콘 결합을 쉽게 끊을 수 있도록 하여 rate controlling step인 계면 1의 속도를 향상시켰기 때문이라고 생각된다.

이와 같은 현상을 TFT에 적용하면 Ni의 빠른 성장을 이용한 비대칭 MILC-TFT 제작이 가능해 빠른 시간 내에 채널 내에 존재하는 MILC-MILC 경계의 금속 실리콘이드 라인을 제거할 수 있을 것으로 기대되어 현재 TFT 제작에 적용한 연구가 진행 중에 있다. 또한 성장속도가 빨라 낮은 온도에서도 폴리 TFT의 제작이 가능할 것으로 보여 산업적으로 큰 영향을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 피티플러스(주)의 재정적인 지원과 공정 도움으로 완성되었으며, 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. S. W. Lee and S. K. Joo, "Low Temperature Poly-Si Thin-Film Transistor Fabrication by Metal-Induced Lateral Crystallization," *IEEE Electron Devices Lett.*, **17** 160-62 (1996).
2. S. W. Lee, Y. C. Jeon, and S. K. Joo, "Pd Induced Lateral Crystallization of Amorphous Si Thin Films," *Appl. Phys. Lett.*, **66** [13] 1671-73 (1995).
3. M. Wong, Z. Jin, G. A. Bhat, P. C. Wong, and H. S. Kwok, "Characterization of the MIC/MILC Interface and Its Effects on the Performance of MILC Thin-Film Transistors," *IEEE Trans. Electron Devices*, **47** [5] 1061-67 (2000).
4. Z. Meng, M. Wang, and M. Wong, "High Performance Low Temperature Metal-Induced Unilaterally Crystallized Polycrystalline Silicon Thin Film Transistors for System-on Panel Applications," *IEEE Trans. Electron Devices*, **47** [2] 404-09 (2000).
5. T.-H. Ihn, T.-K. Kim, B.-I. Lee, and S.-K. Joo, "A Study on the Leakage Current of Poly-Si TFTs Fabricated by Metal Induced Lateral Crystallization," *Microelectronics Reliability*, **39** 53-8 (1999).
6. G.-B. Kim, Y.-G. Yoon, M.-S. Kim, H.-J. Jung, S.-W. Lee, and S.-K. Joo, "The Electrical Characteristics of MILC Poly-Si TFTs with Long Ni-Offset Structure," *IEEE Trans. Electron Devices*, **50** [12] 2344-47 (2003).
7. C. Hayzelden and J. L. Batstone, "Silicide Formation and Silicide-Mediated Crystallization of Nickel-Implanted Amorphous Silicon Films," *J. Appl. Phys.*, **73** [12] 8279-89 (1993).
8. R. J. Nemanich, C. C. Tsi, M. J. Thompson, and T. W. Sigmon, "Interface Enhanced Raman Scattering Study of the Interfacial Reaction of Pd on a-Si:H," *J. Vac. Sci. Tech.*, **19** 685-88 (1981).
9. G. Liu and S. J. Fonach, "Selective Area Crystallization of Amorphous Silicon Films by Low-Temperature Rapid Thermal Annealing," *Appl. Phys. Lett.*, **55** [7] 660-62 (1989).
10. S.-W. Lee, B.-I. Lee, T.-K. Kim, and S.-K. Joo, "Pd₂Si-Assisted Crystallization of Amorphous Silicon Thin Films at Low Temperature," *J. Appl. Phys.*, **85** [10] 7180-84 (1999).
11. M. J. Aziz, P. C. Sabin, and G.-Q. Lu, "The Activation Strain Tensor: Nonhydrostatic Stress Effect on Crystal Growth Kinetics," *Phys. Rev. B*, **44** [18] 9812-16 (1991).
12. E. Nygren, M. J. Aziz, D. Tunbull, J. M. Poate, D. C. Jacobson, and R. Hull, "Effect of Pressure on the Solid Phase Epitaxial Regrowth Rate of Si," *Appl. Phys. Lett.*, **47** [3] 232-33 (1985).
13. G. Q. Lu, E. Nygren, and M. J. Aziz, "Pressure-Enhanced Crystallization Kinetics of Amorphous Si and Ge: Implications for Point-Defect Mechanisms," *J. Appl. Phys.*, **70** [10] 5323-45 (1991).