

펄스 조건에 따른 갈륨비소의 산화 나노리소그래피 특성

Characteristics of GaAs Oxidation Nanolithography According to Pulse Condition

*김형철¹, 유종선¹, #류시형¹

*H. C. Kim¹, J. S. Yu¹, #S. H. Ryu(ryu5449@jbnu.ac.kr)¹

¹전북대학교 기계공학과

Key words : Oxidation nanolithography, GaAs, Atomic force microscopy, Electric pulse, Nano-dot, Nano-pit

1. 서론

나노 구조가 차세대 전자 및 광소자, 초소형 센서 및 부품 등에 응용되기 시작하면서, 다양한 형상과 재료에 적용 가능한 나노 패터닝 기술 개발이 요구되고 있다. 원자현미경(AFM)은 대기나 액중에서 재료를 조작할 수 있는 장점이 있어서 기계적, 전기적, 화학적인 방법을 이용한 나노 패터닝 방법들이 연구되고 있다.¹ Legrand²는 캔틸레버의 주파수와 인가 펄스의 위상차에 따른 Si의 산화 특성을 연구하였으며, Fukuzawa³, Nagahara⁴ 등은 Si, GaAs를 산화시킨 후 화학적 에칭을 통하여 나노 그루브를 제작하였다. Hyon⁵ 등은 피드백 이득과 스캔 속도를 변화시키면서 GaAs에 기계적인 방법으로 나노 패터닝을 가공하였다. 본 논문에서는 프로브의 가압력과 펄스 조건을 변화시키면서 p-GaAs(100)의 산화 나노리소그래피 특성을 고찰하였다.

2. 가압력 및 펄스 조건에 따른 나노 닷, 나노 핏의 형성 특성

Fig. 1에서 보듯이 프로브에 의한 가압력의 크기를 132 - 1460 nN 까지 변화시킨 결과, 셋 포인트 값이 증가함에 따라 생성되는 나노 닷의 높이가 점점 낮아졌다. 특히 가압력의 크기가 1000 nN 이상에서는 Fig. 2와 같이 나노 닷의 중앙부에 움푹 패인 분화구 구조가 형성되었으며, 이는 프로브가 공작물을 누르는 압력이 커서 중앙부에 산화물이 쌓이는 것이 억제된 결과이다. 펄스의 크기를 1 - 8 V 까지 변화시킨 결과 3 V 이하에서는 나노 닷이 생성되지 않았으며, Fig. 3과 같이 4 V 이상에서는 펄스의 크기에 따라 형성되는 나노 닷의 높이가 증가하였다. 나노 닷의 높이는 Fig. 4에서와 같이 펄스 인가 시간에 비례하여 증가하였다. 그러나 일정 시간 이상에서는 산화물이 산소산 이온의

확산을 억제하여 생성되는 나노 닷의 높이에 한계가 있을 것으로 생각된다.

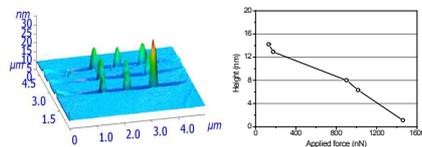


Fig. 1 Oxide nano-dots vs. applied force

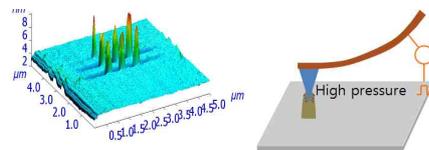


Fig. 2 Central crater generation on nano-dot and its mechanism at high applied force

펄스 주파수를 400 kHz - 1 MHz 까지 변화시킨 결과 실험된 범위에서 나노 닷의 크기와 펄스 주파수의 상관 관계는 찾을 수 없었다. 펄스 폭을 변화시키면서 실험한 결과 펄스 폭이 짧아짐에 따라 나노 닷의 생성이 멈추고, 대신 GaAs의 표면에 나노 핏이 형성되는 현상이 관찰되었다. Fig. 5에서 보듯이 펄스 주파수 100 Hz, 펄스 인가시간 10 sec 일 때, 펄스 폭이 100 ms 이하로 짧아지면 나노 핏이 생성되는 것을 확인할 수 있다.

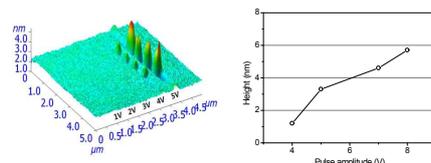


Fig. 3 Oxide nano-dots vs. pulse amplitude

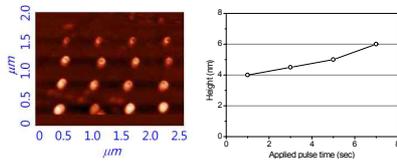


Fig. 4 Oxide nano-dots vs. applied pulse time

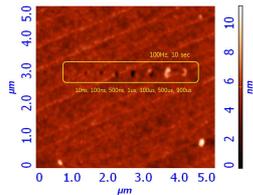


Fig. 5 Transition from nano-dots to -pits according to pulse width reduction

Table 1과 같이 나노 닷에서 나노 핏으로 전환되는 임계 펄스 폭은 펄스 주파수가 증가함에 따라 짧아지는 경향을 보였다. 초단펄스 조건에서 나노 닷의 생성이 억제되는 이유는, 전기 분해된 산화이온이 GaAs의 표면으로 확산되어 산화반응이 일어나는데 필요한 시간이 충분치 않기 때문인 것으로 생각되며, 이러한 상태에서 국부 방전이나 전해 작용에 의해 표면에 나노 핏이 형성되는 것으로 보인다. Fig. 6은 펄스 전압 2 V, 펄스 주파수 100 Hz, 펄스 폭 10 nsec, 펄스 인가 시간 20 sec 의 조건에서 형성된 깊이 약 15 nm, 폭 200 nm의 나노 핏을 나타낸다.

Table 1 Nano-dots and -pits formation according to pulse width and pulse frequency

Pulse width \ Frequency	Unit: nm						
	10 nsec	100 nsec	500 nsec	1 μsec	100 μsec	500 μsec	900 μsec
100 Hz	-2.0	-2.5	-3.5	-5.2	-2.0	3.0	2.2
500 Hz	-0.8	-0.8	-1.5	-1.0	-0.5	2.0	2.5
1 kHz	-0.3	-0.7	-1.2	-0.8	-0.6	1.5	0.5
50 kHz	-0.3	-1.0	-0.6	-0.4	1.0	.	.
1 MHz	-0.5	4.3	4.5	1.0	.	.	.
20 MHz	-0.8

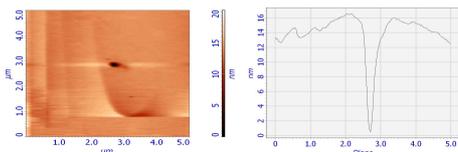


Fig. 6 Nano-pit formed on a GaAs surface

3. 결론

원자현미경을 이용한 p-GaAs(100)의 나노 패터닝 기술에 대해 연구하였다. 콘택 모드에서 다이아몬드 코팅된 도전성 프로브와 공작물 사이에 펄스를 인가하여 산화 나노리쓰그래피 방법으로 GaAs의 표면에 나노 닷을 형성하였다. 인가 전압의 크기, 펄스 폭, 주파수, 가공 시간과 프로브의 가압력을 변화시키면서 나노 닷의 높이, 폭 등 가공 특성을 살펴보았다. 펄스 주파수에 따라서 펄스 폭의 길이가 10 nsec - 1 msec 일 때, 산화에 의한 나노 닷 대신 표면에 나노 핏이 형성되는 현상이 관찰되었다. 제안된 방법은 나노 닷 및 나노 핏의 크기, 위치, 밀도 등을 조절할 수 있어서, 차세대 나노 전자 및 광소자 제조에 본 연구 결과가 널리 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

후기

이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (2009-0071106).

참고문헌

- Xie, X. N., Chung, H. J., Sow, C. H. and Wie, A. T. S., "Nanoscale Materials Patterning and Engineering by Atomic Force Microscopy Nanolithography," Materials Science and Engineering, **54**, 1-48, 2006.
- Legrand, B. and Stievenard, D., "Nanooxidation of Silicon with an Atomic Force Microscope: A Pulsed Voltage Technique," Applied Physics Letters, **74**, 4049-4051, 1999.
- Fukuzawa, K., Deguchi, T., Muramatsu, T., Zhang, H. and Mitsuya, Y., "Nanofabrication of Solid Surface Using Probe Oxidation," Microsystem Technologies, **13**, 1219-1225, 2007.
- Nagahara, L. A., Thundat, T. and Lindsay, S. M., "Nanolithography on Semiconductor Surfaces under an Etching Solution," Applied Physics Letters, **57**, 270-272, 1990.
- Hyon, C. K., Choi, S. C., Hwang, S. W., Ahn, D., Kim, Y. and Kim, E. K., "Direct Nanometer-scale Patterning by the Cantilever Oscillation of an Atomic Force Microscope," Applied Physics Letters, **75**, 292-294, 1999.