

VirtualDub as a Useful Program for Video Recording in Real-time TEM Analysis

Jin-Gyu Kim, Sang Ho Oh¹, Kyung Song,
Seung Jo Yoo and Young-Min Kim*

Korea Basic Science Institute (KBSI), 52 Eoeun-dong,
Yuseong-gu, Daejeon 305-333, Korea

¹Department of Materials Science and Engineering, Pohang
University of Science and Technology, San 31, Hyoja-dong,
Nam-gu, Pohang 790-784, Korea

(Received February 16, 2010; Revised March 22, 2010; Accepted
March 24, 2010)

ABSTRACT : The capability of real-time observation in TEM is quite useful to study dynamic phenomena of materials in a certain variable ambience. In performing the experiment, the choice of video recording program is an important factor to obtain high quality of movie streaming. Window Movie Maker (WMM) is generally recommended as a default video recording program if one uses “DV Capture” function in DigitalMicrograph™ (DM) software. However, the image quality does not often satisfy the condition for high-resolution microscopic analysis since the severe information loss in the final result occurs during the conversion process. As a good candidate to overcome this problem, VirtualDub is highly recommended since the information loss can be minimized through the streaming process. In this report, we demonstrated how useful VirtualDub works in a high-resolution movie recording. Quantitative comparison of the information quality between the images recorded by each software, WMM and VirtualDub, was carried out based on histogram analysis. As a result, the image recorded by VirtualDub was improved ~13% in brightness and ~122% in contrast compared with the image obtained by WMM at the same imaging condition. Remarkably, the gray gradation (meaning an amount of information) becomes wider up to ~115% than that of the WMM result. (김진규, 오상호, 송 경, 유승조, 김영민: 실시간 TEM 분석에 유용한 영상 기록 프로그램, VirtualDub)

Keywords : Real-time TEM, Video recording, VirtualDub

다양한 환경 조건에서 시간에 따른 재료의 역동적 변화를

관찰하는데 in-situ TEM은 가장 강력한 분석 수단 중의 하나이다. 최근의 in-situ TEM 기술은 고분해능 분석 기술과 함께 관찰 영상의 실시간 기록에 의한 시분해능이 결부되어 동적 정보를 제공하기 때문에 직접 가열 실험, 인장 실험, 전자빔 조사 실험 등 다양한 특수 실험 분야에 활발히 적용되고 있다 (Oh et al., 2005; Kim et al., 2008; Oh et al., 2009a; Shim et al., 2009). 이러한 역동적 분석은 TEM의 높은 분석 성능뿐만 아니라 관찰 결과를 기록하는 카메라와 기록 영상을 실시간으로 처리하는 영상 편집 프로그램의 조합에 의해서 가능하다. 실시간 기록 영상의 최종 품질은 이들 조합에 따라 달라지기 때문에 최적의 결과물을 얻기 위해선 이들의 조합을 최적화할 필요가 있다. 주 장비인 TEM과 카메라의 성능이 기록 영상의 품질을 일차적으로 결정하지만 최종적으로는 기록된 영상을 편집하는 영상프로그램의 encoding 방식에 따라 결정된다. 우선 아날로그 타입의 카메라 (TV-rate, 525 interlaced scanning lines)를 사용하는 경우에는 베타캠 방식의 기록 장치나 관찰 영상을 디지털로 변환시켜 기록하는 iFINISH iDV 시스템 (Artel Software Inc.) 등과 같은 기록 및 편집이 가능한 미디어 장치가 추가적으로 장착되어 실시간 영상을 기록하게 된다. 아날로그 방식의 입력 영상은 초당 30 frame의 영상을 기록하기 때문에 시분해능이 우수한 장점이 있는 반면 고가의 미디어 장치를 추가적으로 설치해야 하고 기록 영상의 주변부 왜곡이 발생하기 때문에 이를 보정해 주어야 하는 단점이 있다. 디지털 타입의 카메라를 사용하는 경우에는 CCD 카메라와 연계된 프로그램에 플러그인 방식으로 구동되는 DV Capture (Digital Micrograph, Gatan)나 AVI-recorder (iTEM, Olympus-SiS)와 같은 프로그램들이 있다. 디지털 입력 방식은 아직까지 초당 10~14 frame의 영상을 기록하기 때문에 시분해능이 좋지 않은 단점이 있다. 그러나 별도의 장치가 필요하지 않고 상용 혹은 공개 영상 편집 프로그램의 연동 활용에 의해 CCD 카메라 영상을 바로 encoding하여 기록할 수 있기 때문에 보다 간편한 시스템으로 구축될 수 있다. 현재는 카메라의 성능 개선과 컴퓨터 기술의 발전으로 인해 디지털 방식으로

본 연구는 교육과학기술부 기초기술연구회 STRM 협동과제인 “GaN 박막의 미세구조 및 특성평가(PG9052)”의 재정 지원을 받아 수행하였습니다.

* Correspondence should be addressed to Dr. Young-Min Kim, Division of Electron Microscopic Research, Korea Basic Science Institute, 52 Eoeun-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-333, Korea. Ph.: (042) 865-3947, Fax: (042) 865-3939, E-mail: mirage91@kbsi.re.kr

전환해가는 추세이다. 여기서 한 가지 주지하여야 할 것은 카메라의 기록 영상을 casting하여 주는 프로그램과 연동되는 영상편집 프로그램의 encoding 방식에 따라 최종 동영상의 용량과 품질이 결정되기 때문에 분석 목적에 맞는 적절한 영상 편집 프로그램을 선택하여야 한다는 것이다. 본 연구에서 활용한 DV Capture 프로그램의 경우, CCD 카메라의 영상을 Window OS의 번들프로그램인 WMM (window movie maker)으로 casting하여 주고 WMM은 WMV (window media video) 인코딩 방식을 사용하여 동영상으로 저장한다. 제조사의 기본 사양인 DV Capture와 WMM의 조합은 TEM의 저배율 명시야상 기록에 활용될 경우 영상의 정보량이 많지 않아도 충분한 분석 결과를 제공해 주며 동영상의 크기가 작기 때문에 취급하기 용이하다. 그러나 고분해능 분석이 요할 경우에는 실시간 CCD 영상의 streaming 과정에서 과도한 영상 압축에 의한 정보 손실이 발생하기 때문에 시료의 구조 정보를 제대로 반영하지 못하므로 이들의 조합은 적합하지 않다. 따라서 in-situ TEM 실험 영상이 고분해능 영상일 경우, casting된 이미지들의 streaming 과정에서 정보 손실을 최소화하여 고분해능 구조 분석에 필요한 양질의 정보를 제공해 줄 수 있는 encoding 프로그램을 선택하여 기존의 WMM을 대체하여야 한다. 이에 대한 적절한 대안으로서 공개프로그램인 VirtualDub (<http://home.comcast.net/~fcchandler/index.html>)이 가능하다. VirtualDub은 WMM의 WMV 영상 압축 방식과는 달리 MPEG-2 encoding 방식에 의해 AVI 파일로 동영상을 저장하기 때문에 WMM의 경우에 비해 압축에 의한 정보 손실률을 3분의 1가량 줄이는 효과가 있어서 기록 영상의 결과물이 고분해능 영상일 경우에도 충분한 구조 정보를 제공해 줄 수 있으리라 기대되기 때문이다. 따라서, 본 연구에서는 VirtualDub을 활용한 경우의 고분해능 영상의 실시간 기록

에 있어 취득할 수 있는 정보의 범위와 품질의 차이를 히스토그램 분석을 기반으로 WMM의 경우와 비교하였다.

실험에 사용된 시료는 400 μm 두께를 가진 sapphire [0001] 기판위에 MOCVD (metal-organic chemical vapor deposition)법을 적용하여 2 μm 두께의 GaN층을 1,000도에서 증착시켜 획득하였다. TEM 시료는 알루미늄이나 dummy filler를 적용하여 ion-milling 방법으로 제작하였다 (Oh et al., 2009b). 증착된 GaN 박막 구조에는 약 25 nm의 buffer층이 포함되어 있으며, 격자 상수는 $a=3.189 \text{ \AA}$ 와 $c=5.185 \text{ \AA}$ 이고 공간군은 $P6_3mc$ (#186)이다. GaN 박막의 고분해능 이미지의 관찰 및 기록은 각각 KBSI-HVEM (ARM1300S, JEOL)과 HV-GIF CCD 카메라 (SP-US1000HV, Gatan)를 이용하였다.

Fig. 1은 동영상 기록에 앞서서 일반적으로 고분해능 이미지를 관찰하는데 사용되는 HV-GIF CCD 카메라를 이용하여 25,000배와 50,000배에서 획득한 GaN 박막의 $[2\bar{1}\bar{1}0]$ 의 고분해능 이미지이다. 각각의 이미지에는 실험조건에 의한 전산모사 자료를 이용하여 GaN 결정구조내의 Ga (빨간색)과 N (파란색) 원자의 위치를 규명하였다. GaN 박막의 $[2\bar{1}\bar{1}0]$ 방향에서의 획득한 고분해능 이미지에서는 Ga와 N의 결합거리는 1.24 Å 으로 장비 최대 성능을 구현하기에 적합하기 때문에 추후 동영상 자료의 품질을 평가하는데 기준으로 삼을 수 있다. 현재 HV-GIF CCD 카메라는 Digital Micrograph내에 플러그인 되어있는 DV capture 프로그램을 이용하여 외부로 동영상을 내보낼 수 있다. 이때 외부로 녹화되는 동영상은 항상 화면 비율이 640 \times 480 (4:3) 형식으로 배출이 되기 때문에 HV-GIF CCD 카메라의 형식을 사전에 적절히 변경하는 것이 필요하다. 즉 화면비가 맞지 않을 경우 발생하는 영상 공백을 최소화하여 추가적인 정보 손실을 배제하여야 한다는 것이다. 따라서 일반적인 TEM

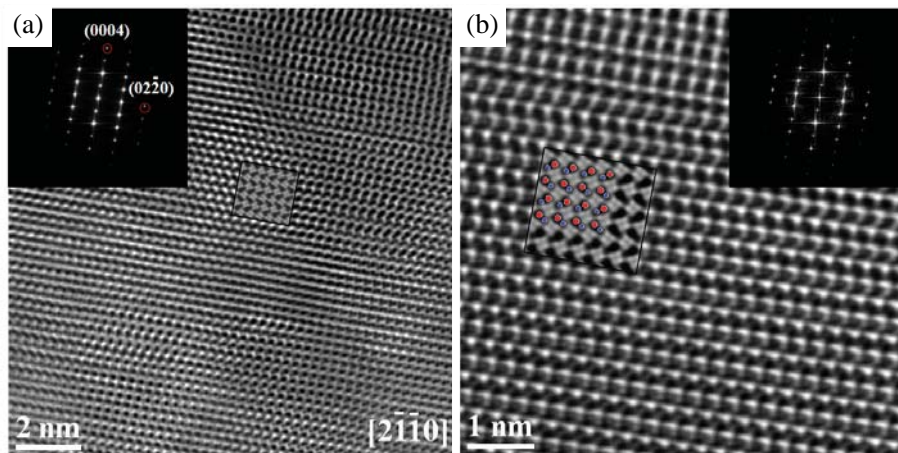


Fig. 1. HRTEM images of GaN $[2\bar{1}\bar{1}0]$ obtained (a) at 25,000 \times and (b) 50,000 \times by using HV-GIF CCD camera. Both HRTEM images reveal the atomic structure of GaN thin-film. The simulation images were inserted in both images and the red and blue atoms indicate the Ga and N atoms, respectively.

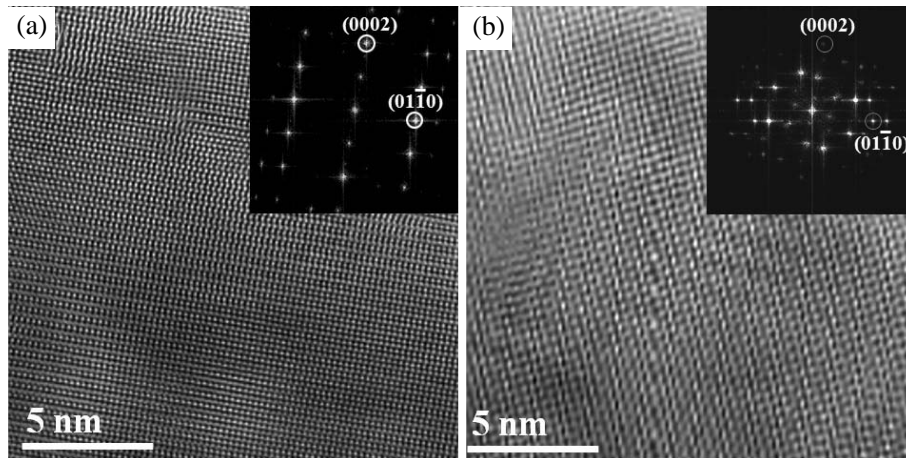


Fig. 2. Comparison of HRTEM images captured from two different video data recorded at $25,000\times$. (a) The capture image using VirtualDub program. (b) The captured image using Windows Movie Maker program.

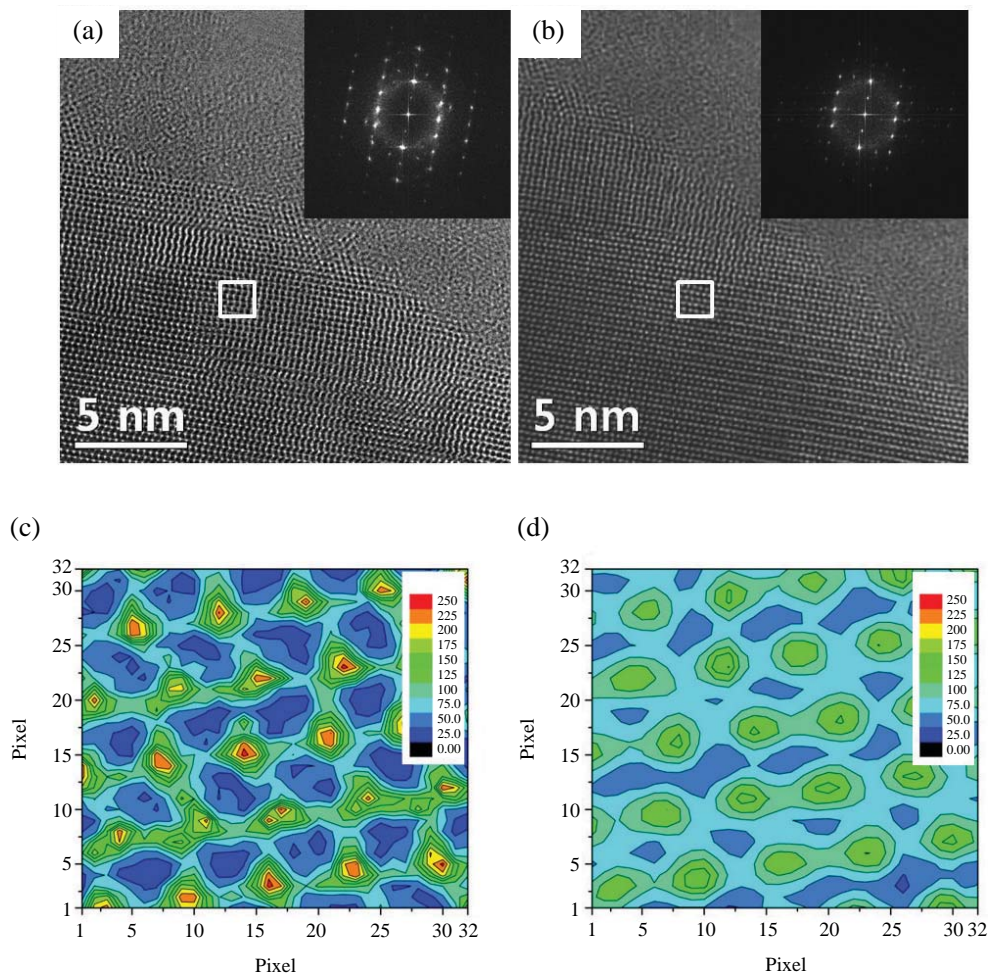


Fig. 3. Comparison of HRTEM images captured from two different recording program at $50,000\times$. (a) The image captured from movie obtained using VirtualDub program. (b) The image captured from movie obtained using Movie maker program. Information depth for which transparent-white-squares (32×32 pixels) are marked in (a) and (b), is described in (c) and (d) by 2D intensity-contour plot, respectively.

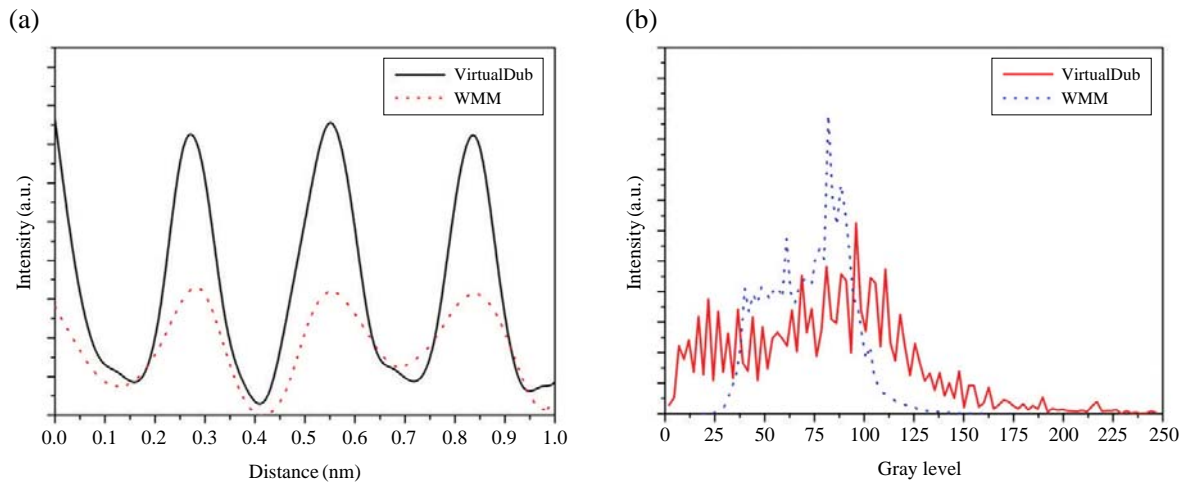


Fig. 4. Comparison between (a) the intensity profiles and (b) the histograms extracted from each image of Fig. 3(a) and (b), respectively.

용 CCD 카메라는 $1k \times 1k$ 또는 $2k \times 2k$ 로 구성이 되기 때문에 미리 4:3 비율로 형식을 변경 (1k의 경우: 1024×768 , 2k의 경우: 2048×1536)하여 실험 영상을 기록하는 것이 바람직하다.

Fig. 2에는 각각 VirtualDub과 WMM를 이용하여 25,000배에서 기록한 동영상 자료로부터 캡처한 이미지를 나타내었다. 동영상 기록은 Fig. 1과 동일한 장비 조건(영상 강도, 노출시간, 등)에서 실시하였다. Fig. 2의 각각의 영상과 Fig. 1(a)의 이미지와 정성적으로 비교해 볼 때, VirtualDub를 이용하여 기록된 동영상의 자료가 직접 HV-GIF CCD 카메라를 이용하여 획득한 이미지와 유사한 영상 품질을 구현한다는 것을 확인할 수 있다. 또한 Fig. 2(a)의 FFT (fast fourier transform) 자료는 부분적으로 GaN 결정구조와 상관 없는 대칭성을 나타내는 회절점을 포함하고 있으나 거의 정확한 결정 대칭성을 나타내고 있고, Fig. 1(a)에 비해 다소 낮은 분해능 ((0003) 회절점 $\sim 1.73 \text{ \AA}$)을 구현하고 있으나 고분해능 분석에는 큰 어려움이 없다는 것을 알 수 있다. 이에 반해서 Fig 2(b)의 FFT 자료에서는 공간 분해능 ((0002) 회절점 $\sim 2.6 \text{ \AA}$)이 현격히 감소되었다는 것을 알 수 있으며, 보다 중요한 것은 결정 대칭성이 보존되지 않기 때문에 구조분석에 있어서 큰 오류를 범할 수 있다는 것이다.

Fig. 3에는 각각 VirtualDub과 WMM를 이용하여 50,000배에서 기록한 동영상 자료로부터 획득한 이미지를 비교하여 나타내었다. Fig. 3(a)의 고분해능 이미지는 FFT 자료로부터 Fig. 1과 비교할 때 거의 동일한 공간 분해능을 확보하고 있어 GaN 박막의 구조분석을 정량적으로 수행할 수 있음을 알 수 있다. 반면, Fig. 3(b)는 여전히 FFT 자료 내에 GaN 결정의 대칭성과 상관없는 대칭점이 다수 포함되어 있으며, 공간 분해능 또한 VirtualDub을 이용하여 25,000배에서 획득한 동영상 자료와 크게 차이가 나지 않음을 알 수

Table 1. Comparison of image qualities of videos encoded by VirtualDub and WMM programs, respectively.

Program	FWHM	Brightness	Contrast	Gray gradation
VirtualDub	1.16 \AA	81.9	45.2	245.5
WMM	1.55 \AA	72.4	20.3	114.1
Relative improvement (%)	25.2	13.1	122.7	115.2

있다. 또한 Fig. 3(c)와 (d)와 같이 각각의 고분해능 이미지로부터 동일한 영역 (32×32)에 대한 픽셀 강도 분포도의 비교를 통해 VirtualDub을 이용하여 기록한 동영상의 자료가 WMM을 이용한 경우에 비해 보다 선명하고 풍부한 영상 강도를 확보하고 있음을 알 수 있다. Fig. 4에는 보다 정량적인 영상 품질의 비교를 위해 Fig. 3(a)와 (b)로부터 픽셀 강도 profiles와 히스토그램 자료를 나타내었다. Fig. 4(a)로부터 VirtualDub과 WMM를 이용하여 획득한 영상의 FWHM (full width half maximum)을 계산한 결과, 각각의 FWHM은 1.16 \AA 과 1.65 \AA 이었다. 또한 Fig. 4(b)와 같이 히스토그램의 분석을 통해서 VirtualDub을 이용하여 획득한 영상이 보다 풍부한 계조(gray gradation)을 나타내고 있음을 알 수 있다. 상기와 같이 두 가지 방법을 이용하여 획득한 영상 품질의 비교 결과를 Table 1에 나타내었다. 결과적으로, VirtualDub를 이용할 경우에 기존의 WMM 방식에 비해 약 25.2%의 분해능이 향상된 영상을 획득할 수 있음을 알 수 있다. 또한 영상의 밝기는 약 13.1%, 영상 대비는 122.7%, 그리고 계조는 약 115.2%가 향상된 양질의 영상을 확보할 수 있기 때문에 DM내의 DV Capture 기능을 활용하여 보다 정량적인 고분해능 분석을 수행할 수 있음을 시사한다.

시료의 역동적인 변화의 관찰 및 분석을 위해서 추가적

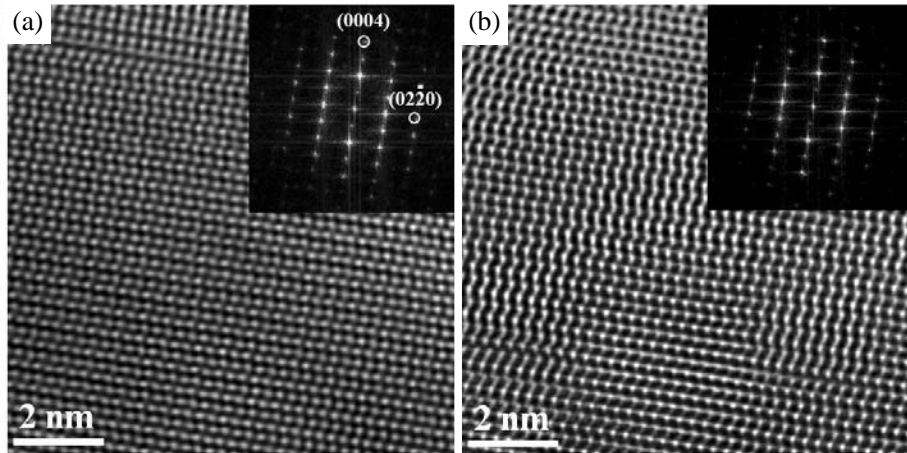


Fig. 5. Comparison of HRTEM images captured from video data recorded at different binning mode using VirtualDub program. Each video was recorded at (a) binning 2 mode and (b) full mode of HV-GIF CCD, respectively.

으로 고려해야 할 사항은 기록하는 동영상의 프레임 속도이다. 일반적으로 real-time TEM 연구를 위한 실시간 영상의 구현을 위해서는 TV rates (~ 30 fr/sec)가 필요하지만, KBSI-HVEM의 HV-GIF CCD 카메라의 경우에는 적절한 영상 강도의 확보를 위한 노출시간의 제한으로 고배율에서 획득한 동영상일수록 프레임 속도가 현저히 떨어지는 것이 현실이다. 이러한 이유로 고분해능 이미지 분석이 가능한 최소의 배율에서 최대의 프레임 속도를 확보하는 것이 중요하다. 동영상 자료의 프레임 속도를 증가시키기 위한 또 하나의 방법은 CCD 카메라의 binning 조건을 조절하는 것이다. Fig. 5에는 VirtualDub을 이용하여 동일한 배율에서 CCD 카메라의 binning 조건을 변화시켜 획득한 이미지를 나타내었다. 2k CCD 카메라의 경우에 binning 2 모드를 이용하면 픽셀 분해능은 2배로 줄어드는 반면 동일한 전자빔 강도에 대하여 영상 획득에 필요한 노출시간은 1/4배로 줄어들 수 있기 때문에 프레임 속도를 4배까지 증가시킬 수 있다. 또한 2배로 줄어든 픽셀 분해능은 VirtualDub의 경우 기본적으로 640×480 의 형식을 채택하기 때문에 binning에 의해 줄어든 1k CCD 카메라(1024×768)의 경우 전혀 문제가 되지 않는다. 실제 영상자료의 FFT 자료를 비교할 때, 거의 동일한 공간 분해능을 나타내고 있음을 알 수 있으며 2k CCD 카메라를 이용했을 때 필요한 긴 노출시간에 의해 기록 영상에 발생하는 streaking의 문제를 해결할 수 있는 추가적인 장점이 있다. 이런 관점에서 볼 때, HV-GIF CCD 카메라를 이용하여 25,000배에서 획득한 이미지에 대한 영상은 보다 빠른 프레임 속도(~ 10 fr/sec, at binning 2)로 기

록이 가능할 수 있다. 또한 저배율에서의 시료의 전위, 입자 계면, 전단, 형상의 변화는 TV rates에 근접한 영상의 획득이 가능할 것으로 기대된다. 이와 같이 KBSI-HVEM을 이용한 실시간 영상 분석을 위해서는 HV-GIF CCD 카메라와 VirtualDub 프로그램을 이용하는 것이 유리하며, 연구 목적에 따라 영상의 품질을 고려하면 TV rates 또는 원자분해능의 분석까지 가능할 것으로 기대된다.

참고 문헌

- Kim YM, Lee S, Kim YS, Oh SH, Kim YJ, Lee JY: Electron-beam-induced transition aluminas from aluminum trihydroxide, *Scripta Materialia* 59 : 1022-1025, 2008.
- Oh SH, Kauffmann Y, Scheu C, Kaplan WD, Rühle M: Ordered liquid aluminum at the interface with sapphire. *Science* 310 : 661-663, 2005.
- Oh SH, Legros M, Kiener D, Dehm G: In situ observation of dislocation nucleation and escape in a submicrometre aluminium single crystal. *Nature materials* 8 : 95-100, 2009a.
- Oh SH, Choi JH, Song K, Jeung JM, Kim JG, Yu IK, Yoo SJ, Kim YM: Cross-sectional TEM specimen preparation of GaN-based thinfilm materials using alumina dummy filler. *Korean J Microscopy* 39(3) : 277-281, 2009b. (Korean)
- Shim JH, Cho NH, Kim JG, Kim YJ: Effect of Al addition on the crystallization of $a\text{-Al}_x\text{Si}_{1-x}$ ($0.025 \leq x \leq 0.100$) by electron-beam irradiation. *Journal of Non-Crystalline Solids* 355 : 2339-2344, 2009.