

전자선감속에 의한 주사전자현미경분해능의 제고방법

박규회, 김은철

경애하는 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학연구기관들과 교육기관들에서 현대적인 검사기술수단, 계량계측수단들을 연구개발하기 위한 사업을 추진하면서 다른 나라들과의 교류와 협조를 통하여 발전된 검사수단들을 적극 받아들이도록 하여야 합니다.》

주사전자현미경은 다공성나노재료와 나노분말과 같은 분산성나노재료들의 립도분석에서 위력한 수단[1]으로 되고있다.

립도분석과 기공상태를 보다 정확히 측정하기 위하여서는 주사전자현미경의 배율과 함께 분해능을 개선하는것이 무엇보다 중요하다.

우리는 전자선감속방법을 주사전자현미경(《JSM-6610A》)에 도입함으로써 나노재료분석에서 분해능을 개선하고 분석결과의 정확성을 훨씬 높였다.

1. 전자선감속방법에 대한 이론적연구

시간적으로 변하지 않는 정전기마당속에서 전자가 운동할 때 전기마당은 전자의 운동속도변화를 일으켜 운동에너지를 변화시킨다.

정전기마당속에서 전자가 운동할 때 전자의 운동에너지와 포텐셜에너지의 합은 일정하다.

전자의 속도가 크지 않을 때 즉 $v < C$ 일 때 운동에너지 $E_{\text{운}}$ 은 $E_{\text{운}} = \frac{1}{2}mv^2$, 정전기마당에서 전위가 φ 인 점에서의 전자의 포텐셜에너지 $E_{\text{포}}$ 는 $E_{\text{포}} = -e\varphi$ 로 된다. 그러므로 전자의 전에너지는 $E_{\text{전}} = \frac{1}{2}mv^2 - e\varphi$ 로 된다.

따라서 정전기마당속에서 임의의 두 점 x_0 과 x_1 을 택하면

$$\frac{1}{2}m(v_1^2 - v_0^2) = e(\varphi_1 - \varphi_0) \quad (1)$$

이 성립한다.

이제 음극에서 방출된 전자가 가속전압의 작용을 받아 속도 $v_{\text{가}}$ 를 가졌다면 식 (1)로부터 $\varphi_0 = 0$, $v_0 = 0$ 이므로

$$\frac{1}{2}mv_{\text{가}}^2 = e\varphi = eU_{\text{가}} \quad (2)$$

가 된다. 여기서 $U_{\text{가}}$ 는 전자의 운동자리길에서의 전위차 즉 가속전압이다.

식 (2)로부터

$$v_{가} = \sqrt{\frac{2eU_{가}}{m}}. \quad (3)$$

운동속도 $v_{가}$ 를 가진 전자가 대물렌즈와 시료 사이에 부전압 $U_{제}$ 가 걸린 정전기마당을 통과하면서 $v_{제}$ 만큼 감속되어 시료에 입사할 때 $v_{가} - v_{제} = v$ 로 되었다고 하면 식 (3)으로부터

$$\sqrt{U_{가}} - \sqrt{U_{제}} = \sqrt{U} \quad (4)$$

의 관계가 보장되어야 한다.

정전기마당은 포텐셜 φ 인 등전위면으로 표시할수 있으며 정전기마당의 세기방향은 포텐셜이 감소하는 방향으로 향하되 등전위면에 수직으로 향한다.

또한 정전기마당의 세기는 등전위면의 밀집정도, 포텐셜의 변화속도를 특징짓는다. 그러므로 포텐셜이 각각 $-\varphi_0$, 0인 두 부분 l_0 사이 공간에서 선형으로 변할 때 즉 $\varphi = -\varphi_0 + kx$, $k = \varphi_0 / l_0$ 일 때 운동하는 전자에 작용하는 총포텐셜에너지는

$$E_{총} = \int_0^{l_0} (-\varphi_0 + kx) dx = -\varphi_0 l_0 / 2. \quad (5)$$

한편 시료우에 부의 정전기마당을 걸어주면 입사전자에 의해 방출된 2차전자의 에너지가 작아서 일부 전자가 금속그물을 극복하지 못하는 현상이 발생할수 있다.

시료와 부전압을 걸어준 중간에 일정한 크기의 정전압을 걸어주면 방출전자를 밖으로 유도해주어 섬광체의 포집양극전압에 의해 빛전자증배관에 작용하게 함으로써 발생된 2차전자에 대한 수집효율이 훨씬 높아지게 된다.[2, 3]

2. 전자선감속장치의 구성설계

먼저 시료설치대를 제동전압을 가하는데 편리하게 구성하는데 여기서 기본은 시료에 2차전자검출기 전도성이 없다 하더라도 시료설치밀면의 전위는 0V로 보장하고 대물렌즈로부터 동작거리를 될수록 짧게 하면서 $U_{제}$ 를 가하는 금속그물설치에 지장이 없게 하는것이다. 이와 같은 조건을 고려하여 전자선감속장치를 구성하였다.(그림 1)

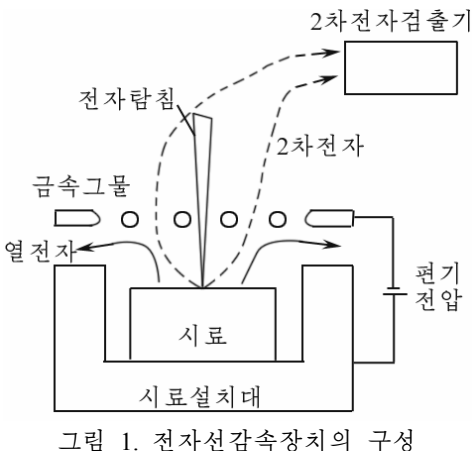
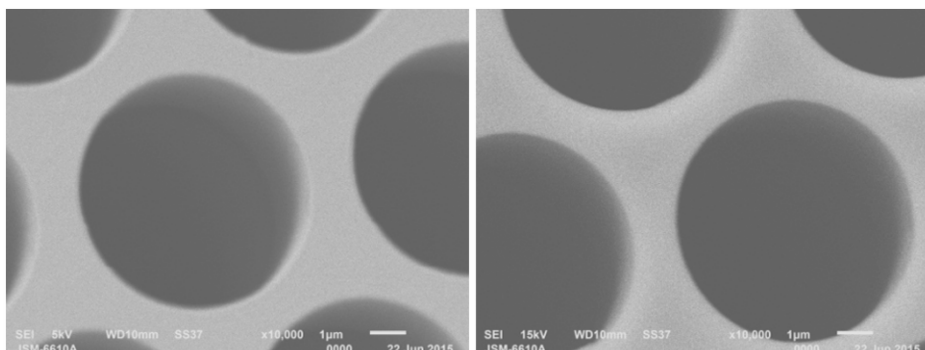


그림 1. 전자선감속장치의 구성

전극 및 전원부는 극소형리튬전지 48개를 직렬연결하여 50V이상 되게 만들었다. 시료설치면은 도체면으로서 시료밀면과 결합되어있고 이 밀면에 정전압원의 +극이 연결되고 -극은 금속그물에 연결되게 만들었다. 이때 금속그물과 시료설치면과의

간격을 될수록 작게 하여 현미경의 작용거리를 짧게 만들어야 한다. 금속그물을 설치하는 판(정전원함의 뚜껑)은 절연판으로서 될수록 얇은것을 써야 작용거리를 작게 하는데 유리하다.

우와 같이 구성설계하여 제작한 전자선감속장치를 리용하여 통로판을 관찰한 실패를 그림 2에 보여주었다.



7)

8)

그림 2. 통로판의 SEM사진(10 000배)

7) 전자선감속장치를 리용한것(5kV), 8) 전자선감속장치를 리용하지 않은것(15kV)

그림 2의 7)에서는 그림 2의 8)에서 관찰할수 없었던 구멍밑부분을 관찰할수 있으며 5kV에서도 15kV에서와 같은 선명한 화상을 얻을수 있었다. 특히 전자선감속장치를 리용하여 전도성이 없는 시료도 증착없이 상관찰을 진행하였으며 이때 높은 분해능을 가진 사진을 얻었다.

맺 는 말

우리는 전자선감속장치를 개발하고 그것을 주사전자현미경내부에 설치하여 가로세로비가 큰 구멍의 밑관찰을 진행할 때 분해능을 훨씬 높여 명백한 화상을 얻었다. 또한 저가속전압에서도 고배율관찰을 진행할수 있으며 높은 분해능을 얻을수 있다는것을 실험을 통하여 확증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 박일만 등; 주사전자현미경분석, 김책공업종합대학출판사, 4~29, 주체96(2007).
- [2] D. J. Stokes; Phil. Trans. R. Soc. Lond., A 361, 2771, 2013.
- [3] 山田満彦; 走査電子顕微鏡, 共立出版社, 10~330, 2010.

주체105(2016)년 7월 5일 원고접수

A Raising Method of the Resolution of the Scanning Electron Microscope by the Electronic Beam Deceleration

Pak Kyu Hoe, Kim Un Chol

We establish the raising method of resolution of scanning electron microscope by introducing the electronic beam deceleration method. And we confirm that we can observe the sample with the high magnification in the low acceleration voltage without coating and obtain the high resolution such as high acceleration voltage throughout the experiments.

Key words: SEM, resolution, electron beam deceleration