

# 전자빔 밀도 지도를 이용한 광결정 제작시 발생하는 근접 효과 보정

## Proximity effect correction for photonic crystal devices using electron beam density map

강주형\*, 김선경, 김세현, 이용희  
한국과학기술원 물리학과  
kangjuhy@kaist.ac.kr

현재 광결정을 이용하여 매우 작은 크기의 레이저<sup>(1)</sup>, 도파관<sup>(2)</sup>등에 관한 연구들이 활발하게 이루어지고 있다. 이런 작은 크기를 가진 소자의 제작 방법에는 전자빔 리소그래피(electron beam lithography)<sup>(1)</sup>, 나노입자의 자기조립(self-organizing)<sup>(3)</sup>, 레이저 홀로그래피<sup>(4)</sup> 등이 있는데, 이 중 원하는 모양을 비교적 쉽게 만들 수 있는 전자빔 리소그래피가 광결정 제작에 가장 널리 사용되고 있다. 그런데 전자빔 리소그래피를 이용하여 미소한 패턴을 제작할 경우 전자빔이 레지스트(electron beam resist)에서 산란(scattering)되기 때문에 원래 설계했던 것과는 다른 크기와 모양으로 제작된다. 이를 근접효과(proximity effect)라 한다. 이 효과는 전자빔 산란에 의해 나타나는데 크게 두가지로 생각할 수 있다. 하나는 입사된 전자빔이 레지스트를 통과하며 산란되는 것으로 앞쪽산란(forward scattering)이라 부르고 다른 하나는 기관에서 반사된 전자빔이 다시 레지스트를 변형시키는 것으로 뒤쪽산란(backward scattering)이라고 부른다. 이 두 가지 효과 때문에 한 점을 향해 전자빔을 쏘아주더라도 실제 그 전자빔이 전자빔 레지스트와 반응하는 범위는 훨씬 넓어진다. 그 효과는 아래와 같이 이중 가우시안 함수로 나타낼 수 있다.<sup>(5)</sup>

$$f(r) = \frac{D}{1+\eta} \left\{ \frac{1}{\beta_f^2} \exp\left(-\frac{r^2}{\beta_f^2}\right) + \frac{\eta}{\beta_b^2} \exp\left(-\frac{r^2}{\beta_b^2}\right) \right\} \quad (1)$$

식(1)은 한 점에 전자빔을 쏘아줄 때 그 점에서부터의 거리에 따라 전자빔의 밀도,  $f(r)$ 을 나타낸 것이다. 우변의 첫번째 항은 앞쪽산란에 의한 효과, 두번째 항은 뒤쪽산란에 의한 효과를 의미한다. 여기서,  $\beta_f$ 는 앞쪽 산란의 범위,  $\beta_b$ 는 뒤쪽산란의 범위를 나타내는 인자이다. 그리고  $\eta$ 는 앞쪽 산란과 뒤쪽 산란의 비율을 나타내고,  $D$ (Dose)는 전자빔리소그래피를 할 때 결정하는 전자빔의 양을 나타내는 인자이다. 이 인자들은 전자빔의 가속전압과 레지스트의 종류, 두께, 기관의 종류에 따라서 달라지는 양으로 실험을 통해서 측정할 수 있다. 본 실험에서는 InP 기관 위에 100nm 두께의 PMMA(poly-methyl metaacrylate)가 코팅된 시료를 사용하였고, 전자빔의 가속전압은 30keV이다. 이 때 사용된 전자현미경은 Hitachi-S2500이다. 이러한 환경에서 앞쪽 산란의 범위  $\beta_f = 88\text{nm}$ , 뒤쪽 산란의 범위  $\beta_b = 452\text{nm}$ , 두 산란의 에너지 비율  $\eta = 0.194$  으로 측정되었다. 그림1(a)은 중심에 전자빔을 쏘았을 때 (1)식에 의해서 구해진 전자빔밀도지도를 전산모사한 것이고, 그림1(b)는 단면을 잘라서 본 것이다.

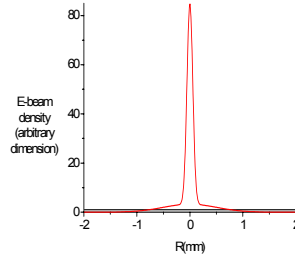
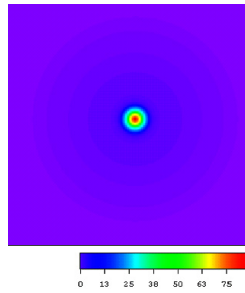


그림 1. (a) 전자빔 밀도 지도

(b) 중심에서의 단면

위와 같은 전자빔 밀도 지도를 이용하면 실험으로 제작하지 않더라도 광결정의 모양이 근접효과에 의해 얼마나 왜곡될지 예상할 수 있다. 그렇게 예상된 각각의 구멍크기와 원하는 구멍크기를 비교하여 되먹임과정을 반복하면 원하는 광결정 제작을 위해 최적화된 전자빔을 쏘는 위치와 양을 설계할 수 있다. 그것을 설계하는 프로그램을 사용하여 구멍 크기가 균일한 삼각격자구조의 광결정 제작에 이용하여 보았다. 그림2(a)는 프로그램을 사용하지 않고 제작한 시료의 전자현미경 사진이고 그림2(b)는 프로그램을 사용한 후 제작한 시료의 전자현미경 사진이다.

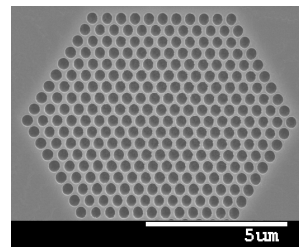
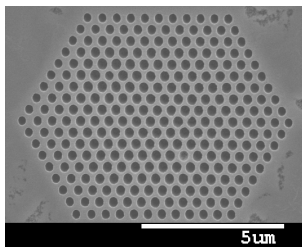


그림 2. (a) 프로그램 사용 안하고 제작한 시료

(b) 프로그램 사용 후 제작한 시료

그림3은 프로그램 사용 전후의 구멍 분포를 히스토그램으로 나타낸 것이다.

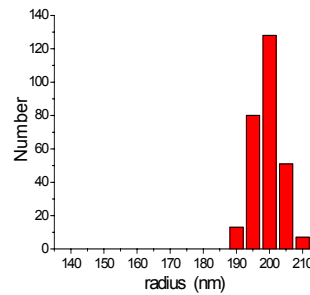
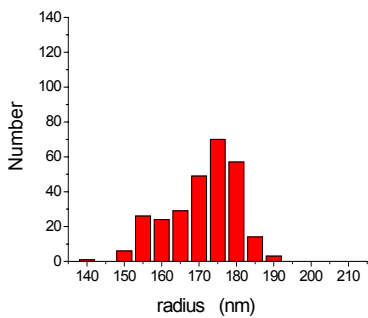


그림3. (a) 프로그램 사용 안한 시료의 구멍크기 분포 (b) 프로그램 사용 후 시료의 구멍크기 분포

구멍크기 표준 편차는 프로그램을 사용 안한 것은 9.01nm이고, 프로그램으로 보정된 시료의 표준편차는 4.18nm이다. 근접효과 보정 프로그램을 사용하여 구멍의 반지름의 표준편차를 약 45.3%로 감소시켰음을 알 수 있다.

참고문헌

1. Hong-Gyu Park, Science, 305 1444(2004)
2. Shawn-Yu Lin, Science, 282 274(1998)
3. V.N. Astratov, Appl. Phys. Lett., 78 4904(2001)
4. Toshiaki Kondo, Appl. Phys. Lett., 79 725(2001)
5. T.H.P. Chang, J. Vac. Sci Technol. 12, 1271(1989)