

## Bi 나노입자들의 크기감소에 따른 Volume Plasmon Energy의 변화

김정선, 김근홍, 천창환, Yewu Wang\*, 김광수\*

국방과학연구소 소재개발부, 포항공대 화학과\*

### 1. 서론

Bismuth(Bi)는 반금속(semimetal) 물질이다. 이 물질은 광학 및 전자광학 소자의 열기전력 소재로 많은 관심을 받고 있다. Low effective mass, small energy overlap, 결정 크기 감소 또는 온도 감소에 따른 semimetal-semiconductor transition이 존재한다고 보고 되어 차세대 열기전력 소재로 충분한 잠재력이 있다고 한다. 최근의 일련의 나노입자 연구에서 입자 개개의 독립적인 나노결정질 탄소입자들의 EELS 분석을 통해서 이론적으로 예측된 semimetal-semiconductor transition 현상이 탄소나노입자들의 크기 감소에 따른 전자상태 변화 분석을 통해 실험적으로 밝혀내고 있다[1].

한편, 현재까지 Bi 나노입자의 경우 나노카본과 유사한 transition이 예상되나, 10nm이하의 나노분말을 만들기가 어렵고 제조법 연구자체가 첨단 연구로 되어 있었다. 이에 새로이 만들어진 Bi 나노입자들을 가지고 EELS 분석을 실시할 수 있게 되었다. Bi 나노입자 변화에 따른 volume plasmon energy 변화 분석을 통해서 양자 구속 효과에 기인한 semimetal-semiconductor transition 변화를 분석하고자 하였다.

### 2. 실험방법

수집에서 수백nm의 Bi 나노입자 시편, 평균입도 12nm의 Bi 나노입자 시편, 평균입도 6nm의 Bi 나노입자 시편을 준비하여 TEM carbon- supportin grid 위에 시편을 채취하였다. 개개의 나노입자에 대한 전자상태 분석을 위해 300kV Jeol FEG-TEM을 사용하여 나노 probe 분석 및 Gatan GIF200을 통한 EELS 분석을 실시하였다. Bi 나노입자를 확인하기 위해서 개개의 EELS 분석 전과 후에 EDS분석을 실시하였다. 또한 나노빔 drift 및 시편 drift에 의한 에러를 방지하고자 하였다.

### 3. 결과 및 고찰

그림 1은 Bi 나노입자들의 크기 감소에 의한 EELS 스펙트럼 변화를 보이는 대표적인 스펙트럼들을 보여준다. 통상적인 벌크에서의 Bi의 volume plasmon energy는 13.8eV로 알려져 있다. 나노입자 크기가 500nm부터 80nm까지는 13.8eV의 벌크에서의 volume plasmon energy를 계속 유지하다가 60nm-25nm에서 14.2-14.6eV로 약간 증가하게 된다. 15nm 부근에서 14.6eV부터 16.4eV까지 크게 data의 편차를 보이면서 급격

한 증가를 보이게 된다. 11nm크기에서 19.8eV, 6nm에서 26.8eV, 5nm에서 28.2eV로 매우 큰 volume plasmon energy변화를 보이고 있다. 이것은 여러 연구결과에서 보인 양자 구속 효과에 의한 변화[2, 3]와 일치하고 있다. 따라서 EELS 분석을 통해 Bi 나노입자들이 입자크기 감소에 따라 semimetal-semiconductor transition이 일어남을 전자상태의 변화를 통해 관찰하였으며, 그 입계 크기는 15nm로 분석되었다.

References

- [1] G. P. Lopinski, et. al., Phys. Rev. Lett, **80**, 4241 (1998).
- [2] M. Mitome et. al., J. Appl. Phys. **72**, 812 (1992).
- [3] P. N. H. Nakashima et. al., J. Appl. Phys. **85**, 1556 (1999).

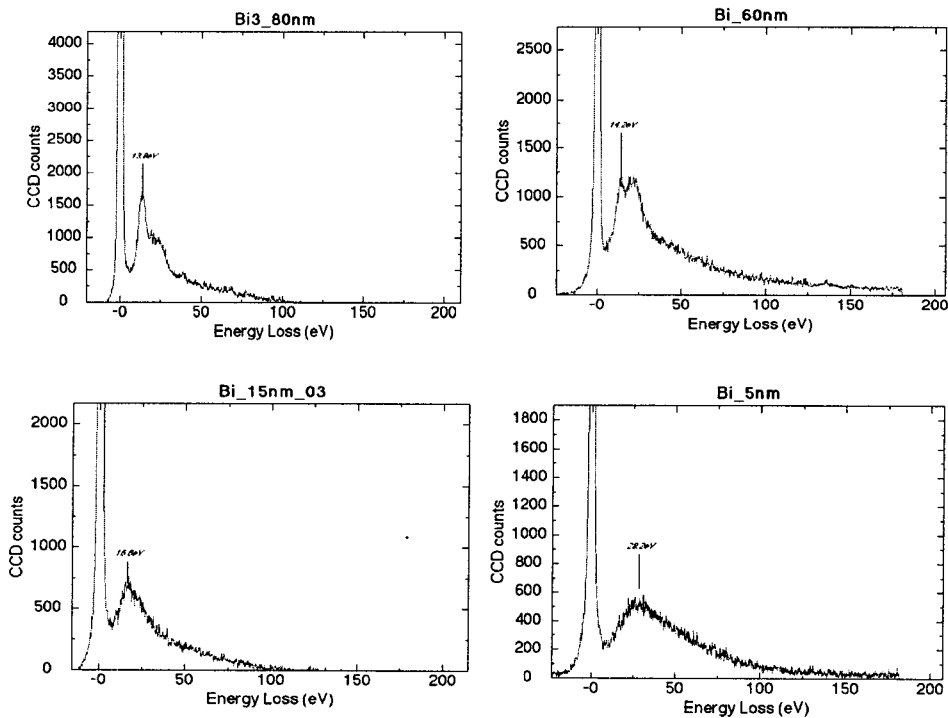


그림 1. 대표적인 Bi 나노입자의 크기 감소에 따른 Bi volume plasmon energy의 변화. (15nm부터 급격하게 고 에너지로의 이동)