

한재량, 강헌

포항공과대학교 화학과

일정 이상의 에너지를 가진 이온은 표면에 입사되면서 그 표면의 물리적 성질이나 화학적 성질을 변화시킨다. 이러한 변화의 관찰은 STM이 개발된 이후 원자 분해능이 가능해짐에 따라 상당한 진척이 있었다. 1985년 Feenstra 등은  $Ar^+$  이온비임을 실리콘 표면에 입사시켜 표면의 변화를 STM으로 관찰하여 직경 50 Å의 돌출 부분을 관찰했다. 그 외 Porte 등은 50 keV  $Ar^+$  이온비임을 HOPG 표면위에 주입하여 수 십 Å의 넓이와 수 십 nm의 돌출부분을 관찰했다. 최근에는 수 십 keV의 여러가지 이온들 ( $C^+$ ,  $N^+$ ,  $S^+$ ,  $Ar^+$ ,  $Xe^+$ )의 에너지와 질량에 따른 표면의 손상과의 관계에 대해 연구되었다.

그러나 현재까지의 이온충돌 실험은 주로 수 십 keV에서 행해졌기 때문에, 표면의 손상이 막대하여 고체 내부의 구조 또한 많이 변하게 된다. 이온과 단일 표면충돌의 충돌을 연구하기 위해서는 이온 에너지를 낮추어 이온 침투에 필요한 문턱 에너지 (threshold energy) 영역에서의 충돌과정을 먼저 관찰하는 것이 필요하다. 이러한 저에너지 충돌과정을 먼저 연구함으로써, 고에너지에서의 연속적인 충돌과정을 이해하는 데에 도움이 될 수 있을 것이다.

본 실험실의 최근 결과에 의하면 투과 문턱 에너지 (< 100 eV) 근처의 에너지를 가진 이온이 HOPG 표면과 충돌할 경우, 이온 침투의 깊이는 대부분 표면층에 국한되며, 동시에 표면층에 포인트 결함 (point defect)이 생성되는 것으로 나타났다. 이번 실험에서는 불활성기체 이온들을 HOPG 표면에 입사시키고, 이에 의해 야기되는 표면의 전자적 구조변화를 관찰하였다. 입사이온의 크기 [ $Ne$  (3.20 Å),  $Ar$  (3.82 Å),  $Kr$  (3.96 Å),  $Xe$  (4.18 Å)]와 손상된 표면구조 크기의 관계, 투과 과정, 그리고 결함주위의 전자적 구조변화에 대해 살펴보았다.

실험방법은 본 실험실의 이온비임-표면 반응장치를 이용하였다. 이온은 콜루트론 방전 이온 원 (Colutron discharge ion source)에서 발생되어 가속이 되고, 이온의 질량은 Wien filter를 거쳐 선택된다. 선택된 질량의 이온은 여러 단계의 집속과정과 에너지 선택 과정을 거쳐 초고진공 반응기로 들어가 HOPG 표면위에 직각으로 향하도록 했다. 이 때 초고진공 반응기의 기본 압력은  $4 \times 10^{-7}$  Torr를 유지하였다. 실험에서 사용한 이온들과 에너지는  $Ne^+$  (50 eV),  $Ar^+$  (50 eV),  $Kr^+$  (100 eV),  $Xe^+$  (100 eV) 이온들이며 이온 유량은  $5 \times 10^{13}$  ions/cm<sup>2</sup>으로 하여 단일충돌의 결과를 관찰하였다. 진공중에서 이온과 반응한 HOPG 표면은 공기중으로 꺼내 자체 제작된 STM으로 표면의 상태를 관찰하였다.

50 eV  $Ar^+$  이온과의 충돌에 의해 변화된 HOPG 표면은 2-4 개의 탄소원자들이 돌출된 것으로 보이며 돌출된 곳의 주변은 약간 함몰된 것처럼 보인다. 표면의 탄소 원자가 돌출된 것은 Ar 원자가 첫째 층과 둘째 층 사이에 포획되어 나타난 결과로 해석된다.  $Ar^+$  이온에

의하여 돌출된 곳의 직경은 평균적으로 0.2-0.4 nm 이다. Ne<sup>+</sup> 이온 충돌 후의 이미지는 Ar<sup>+</sup> 이온의 경우와 비슷한 결과를 보인다. 돌출 지역 주변의 함몰된 부분은 대부분의 이미지들에서 나타났으나, 몇몇 이미지들에서는 함몰된 부분은 없고 돌출된 부분만 나타나기도 하였다.

Kr<sup>+</sup> 이온이나 Xe<sup>+</sup> 이온이 입사한 표면은 평균적으로 3-6 개의 탄소원자가 돌출된 결과를 나타냈다. 돌출된 부분의 평균직경은 Kr<sup>+</sup> 이온은 0.4-0.6 nm, Xe<sup>+</sup> 이온은 0.4-0.8 nm로 이온의 크기가 클수록 돌출 부분의 크기가 커지고 돌출된 탄소원자의 수도 많아진다.

위의 결과들로부터 알 수 있는 것은 다음과 같다. 각 이온들은 표면의 탄소 원자들의 결합을 깨고 (각 원자의 직경은 육각형 안의 직경보다 크므로 결합을 깨지 않고 안으로 들어갈 수는 없다.) 첫째 층과 둘째 층 사이에 포획된다. 그리고 이 이온들중에서 부과 문턱 에너지가 작은 곳으로 입사되는 이온들은, 부과되는데 소모하고 남은 에너지들이 표면의 수직 방향뿐만 아니라 수평 방향으로도 작용해 돌출지역 주위의 원자배열을 변형시킨다. 즉 Ar<sup>+</sup> 이온을 예로 들면, 주위가 함몰된 것으로 보이는 이미지들은, 문턱 에너지가 작은 곳으로 입사되어 첫째 층을 부과한 후 남은 에너지가 주위의 원자 배열을 변형시킨 것으로 생각할 수 있다. 반면에 주위의 변형없이 한 두개의 탄소원자만 돌출된 이미지들은 문턱 에너지가 높은 곳으로 입사되어 나타난 것으로 생각할 수 있다.

각 이온의 크기와 손상 부분의 관계는 이온들의 에너지가 틀리기 때문에 일반적인 결론을 내리기는 어려우나, Kr<sup>+</sup> 이온과 Xe<sup>+</sup> 이온의 손상 결과로는 이온의 크기가 클수록 손상의 효과가 큰 것으로 생각할 수 있다.