



표면분석을 위한 양전자 회절기술의 개발

양전자로 보는 물질최표면의 구조

1. 머리말

양전자를 이용한 회절기술로, 종래의 전지회절로서는 어렵다고 여겨온 표면 첫째층의 구조 해석이 가능하게 되어, 초박막이나 표면촉매재료 개발로의 응용이 기대되고 있다.

이 보고서에는 물질표면의 구조해석법으로써 세계에서 선구적으로 개발한 “반사고속양전자회절(약칭 RHEPD : Reflection High Energy Positron Diffraction)에 대하여 해설한다.

물질최표면에서는 결정의 원자배열이 절단되어 있다. 따라서 표면에서는 원자의 재구성이나 촉매반응이나 벌크(bulk : 물질내부)에서는 일어나지 않는 흥미깊은 현상을 볼 수 있다. 표면은 박막이나 촉매재료의 연구개발에서도 중요한 자리를 차지하고 있으며, 여러 가지 분석방법으로 정력적으로 연구되고 있다.

지금까지 표면구조의 결정에는 전자회절법이 큰 역할을 하여 왔다. 그러나 전자회절로서

는 흡착층의 격자면 간격이나 표면원자의 진동 상태를 정밀하게 측정하는 것은 실제로는 매우 어렵다. 이것은 전자는 마이너스 전하를 가지고 있기 때문에 물질에서 인력을 받아 내부로 진입하여, 표면층 뿐만 아니라 내부의 원자에 의해서도 회절되기 때문이다. 즉 “전자회절로는 최표면만을 볼수가 없다.” 그래서 물질표면 첫째층만을 검지할 수 있는 회절기술의 개발이 기대되고 있었다.

나고야대학의 이치미야(一宮)는, 그림1과 같이 전자대신에 플러스 전하를 가진 양전자를 이용함으로써, 상기문제점을 피할 수 있다는 것을 이론적으로 제시하였다. 즉, 전자와는 반대로 양전자는 물질에서 척력을 받기 때문에, 표면에 스칠정도의 각도로 입사된 양전자는 내부로 진입하지 않고 표면에서 전반사된다.

이것은 다음과 같이 간단한 식으로 이해할 수가 있다. 양전자를 물질에 입사시킬 때의 운동에너지를 E , 입사각도를 θ 라 하면, 운동에너지의 표면수직성분은 $E\sin^2\theta$ 로 된다. 따라서 물

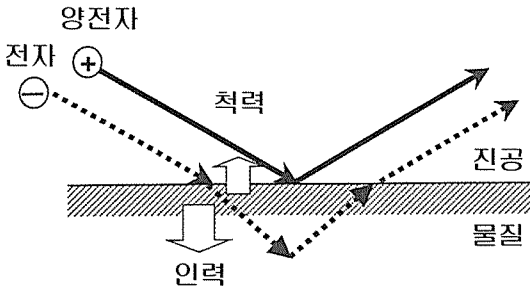


그림 1 양전자와 전자의 물질표면에 대한 회절경로의 차이점



그림 2 Si(111) 결정표면에 의한 반사고속양전자회절의 도형

질이 양전자에 주는 포텐셜을 V_0 (플러스값)라 하면,

$$E \sin^2 \theta < V_0 \quad (1)$$

의 조건이 만족되었을 때, 양전자는 포텐셜을 넘지 못하고 표면에서 전반사된다.

전자의 경우에는 V_0 가 마이너스값이므로 (1)식은 성립하지 않고, 전반사는 원리적으로 일어나지 않는다. 양전자가 표면에서 전반사되면 회절각도의 표면감도가 상승하여, 물질표면을 정밀하게 측정할 수 있게 되었다.

2. 장치개발과 관측결과

이치미야의 제안을 받아서, 우리 연구 그룹에서는 1996년경부터 반사고속양전자회절을 위한 양전자빔의 개발에 착수하였다. 1998년 실리콘 결정에 20keV의 양전자를 입사시켜, 세계 최초로 고속양전자의 반사회절현상을 발견하였다.

당초는 회절도형에 대하여 강도 높은 제로차 라우에(Laue)무늬만이 관측되었지만, 장치를 개량함에 따라 2001년에는 저강도의 1차 라우에 무늬를 가진 회절도형(그림)의 관측에도 성공하였다.

그림 2에서, 중앙의 휘도가 높은 부분이 제로차 라우에무늬, 그 주위의 약한 휘점이 1차 라우에무늬이며, 제일 밑의 휘점은 표면에서 반사되지 않는 양전자 빔이다. 회절도형은 표면원자의 규칙배열을 반영하고 있으며, 특히 1차 라우에무늬의 강도는 원자의 열진동에 민감하다.

반사고속양전자회절실험에는 에너지가 일정한 평행성이 좋고 지름이 작은 빔이 필요하다. 그림 3은 현재 장치의 사진과 그 구성의 개략이다. 양전자선원으로는 반감기 2, 6년으로 붕괴하는 나트륨 -22 (^{22}Na)를 사용하고 있다. ^{22}Na 로부터 방출되는 양전자는 0~약 500 KeV까지의 폭넓은 에너지분포를 가지고 있어서, 그대로는 양전자빔으로서는 사용할 수 없다. 그래서 금속 텅스텐 감속재로 한번 에너지를 선별하여 20kV

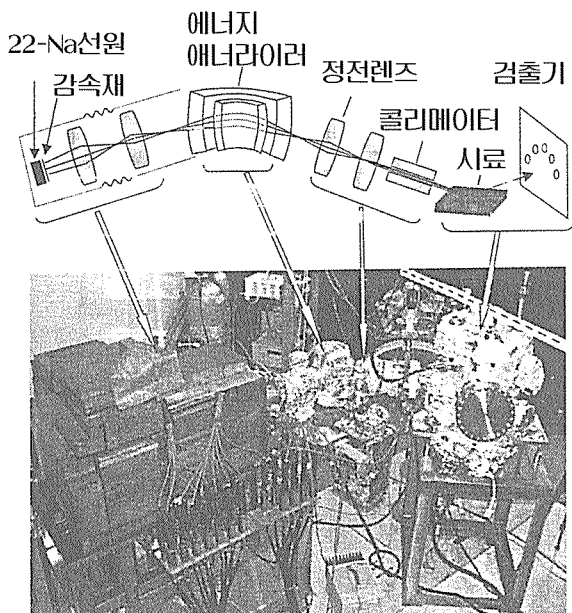


그림 3 반사고속양전자회절에 쓰고 있는 양전자 빔장치

까지 가속한 후, 빔으로 수송한다. 다음에 정전 렌즈를 빔을 집속시킨다. 그리고 동심구형 에너지 애널리라이저로 에너지단색성을 더욱 높여 최종적으로 편광 콜리메이터를 통과시킴으로써 평행성이 높은 작은 지름의 빔을 얻는다. 현재 사용하고 있는 강도는 370MBq로서 최종적으로 얻은 빔의 선속은 약 2,000e⁺/초, 직경은 1mm, 평균각도분포는 0.09°, 그리고 에너지분산은 1%이하이다.

빔선속이 매우 작기 때문에 검출기로서 사용하는 마이크로채널플레이트의 게인을 최대로 해도 선명한 회절도형을 얻기 위해서는 장시간 화상데이터를 적산해야 한다. 통상의 측정에서는 거울면 반사점(입사각도와 같은 각도로 회절되는 빔)강도의 입사각의존성(rocking곡선)을 결정하여, 회절이론을 근거한 해석으로 표면구조를 추정한다.

그림4는 원자적으로 평탄하다고 말하고 있는

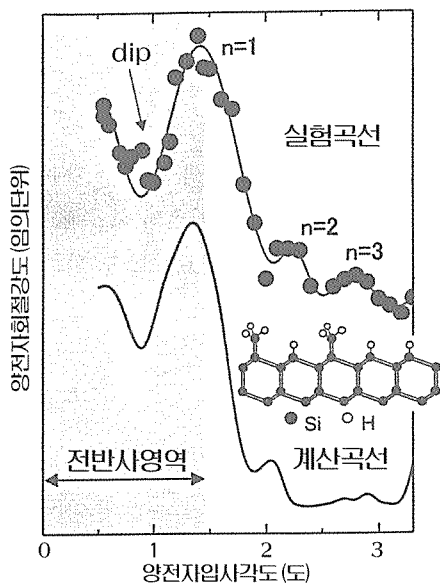


그림 4

수소 맨끝 Si(111)표면에 대하여 측정한 록킹 곡선이다. 먼저 1.6°, 2.1° 그리고 2.8°에 피크가 나타나고 있다. 이것들은 1차에서 3차 브래그(Bragg)반차에 상당한다. 입사각도가 1.4° 이하의 곳에서 강도가 강한 것은 양전자 전반사의 효과이며, 실리콘의 결정포텐셜이 12eV임을 (1)식이 뒷받침하고 있다. 만약, 최표면이 완전히 평탄하면 통상 전반사영역에서는 양전자의 회절강도는 입사각도에 따라 별로 변화하지 않는다. 그러나 그림 4를 보면 각도가 0.9° 근처에 강도의 급강을 볼 수 있다. 이와 같은 dip는 회절된 양전자파의 간섭을 나타내고 있으며, 최표면이 평탄하지 않거나 어떠한 흡착인자가 존재하고 있음을 뜻한다. 그래서 몇가지 표면 원자모델을 상정하여 동역학회절이론에 의거하여 계산한 결과, 그림 4에 나타난 것처럼 Si-H(mono-hydride)로 덮힌 표면에, Si-H₃(three-hydride)이 부착한 구조가 실험곡선을 가장 잘

소스



재현한다는 것을 알았다.

3. 맺음말

위의 예에서는 표면의 구조는 당연한 일이지만 처리 방법에 따라 다르기 때문에 반사고속양전자회절을 실제의 재료개발을 위하여 이용할

수가 있다. 또 상술한 바와 같이, 반사고속양전자회절로는 다른 방법으로는 어렵다고 하는 표면 흡착이나 표면 Oebye온도 측정뿐만 아니라, 금속 표면포텐셜을 직접 측정할 수 있다. 우리 연구그룹에서는 앞으로 반사고속양전자회절에 의한 표면연구를 정력적으로 진행할 예정이다. **KRIA**

참 고 문 헌

1. A. Ichimiya : Reflection high energy positron diffraction, Solid State Phenomena, 28 & 29, 143(1992/93)
2. A. Kawasuso and S. Okada : Reflection high energy positron diffraction from a Si(111) surface, Phys. Rev. Lett. 81, 2695 (1998)
3. A. Kawasuso, S. Okada and A. Ichimiya : Development and application of reflection high energy positron diffraction, Nucl. Inst. & Meth. in Phys. Res. B 171 (2000) 219~230.
4. A. Kawasuso et al. : Reflection high energy positron diffraction at solid surface by improved electrostatic positron beam, Appl. Surf. Sci.

