

<연구논문>

표면 분석용 Coaxial Impact Collision Ion Scattering Spectroscopy (CAICISS) 장치의 제작과 특성

김기석 · 김용욱 · 박노길 · 정광호 · 황정남 · 김성수* · 윤희중* · 최대선**

연세대학교 물리학과, *목원대학교 물리학과

**강원대학교 물리학과

(1993년 12월 10일 접수)

Construction and Characteristics of Coaxial Impact Collision Ion Scattering Spectroscopy System for Surface Analysis

Ki-Seog Kim, Yong-Wook Kim, No-Gill Park, Kwang-Ho Jeong,
Chung-Nam Whang, Sung-Soo Kim*, Hee-Jung Yun* and Dae-Sun Choi**

Department of Physics, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea

**Department of Physics, Mokwon University, Taejeon 301-729, Korea*

***Department of Physics, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea*

(Received December 10, 1993)

요 약 - 표면 분석용 CAICISS 장치를 제작하고, He⁺과 Li⁺이온을 사용하여 장치의 특성을 조사하였다. 장치 분해능의 평가기준으로 이용할 수 있는 ΔT 를 정의하고, Li⁺ 이온을 사용했을 경우와 비교한 결과, He⁺ 이온의 경우 $\Delta T/T=0.034$, Li⁺ 이온의 경우 $\Delta T/T=0.04$ 로서, Li⁺ 이온의 경우가 분해능이 약간 떨어짐을 알았다. 그리고 Ta, Al 표적시료에 대한 실험결과를 보정함수를 이용하여 계산값과 비교한 결과 잘 일치함을 확인하였고, 보정함수는 입사이온의 에너지와 표적원자의 질량에는 무관하고, 실험조건에만 의존함을 알았다. 또한 Si(100) 표면에 He⁺ 이온을 입사하여 입사각에 따른 산란강도 분포 스펙트럼으로부터 CAICISS 장치로 표면 1~4 원자층의 Si 원자에 대한 기하학적인 배열을 확인하였다.

Abstract - CAICISS system for surface analysis is constructed, and characteristics of our system are investigated using He⁺ ion and Li⁺ ion. We defined the ΔT which can be used to estimate the resolution of this system, and compared the value for the case using He⁺ and that using Li⁺. As a result, the $\Delta T/T$ is 0.034 and 0.04 for He⁺ and Li⁺, respectively. We also confirmed that the results of experiment for Ta, Al target atom agree well with these calculated values using a correction function, and the correction function is found to be independent of the energy of incident ion and the mass of target atom, but dependent of the experimental conditions. And we investigated the geometric structure of Si atoms from the angular scan curve for the Si(100) surface.

1. 서 론

낮은 에너지의 이온선을 고체 표면 연구에 이용한 ion scattering spectroscopy(ISS)가 1967년 Smith[1]에 의해 처음 도입된 후, ISS는 고체 표면의 성질을

연구하는데 비교적 잘 적용되어 왔다. 그러나 ISS의 경우 입사 이온과 시료 표면원자의 상호 작용 과정에서 다중산란[2]된 이온도 함께 분석기에 검출되기 때문에, 스펙트럼의 정확한 분석이 어렵다는 문제점이 있었다. 이 단점을 보완하기 위해, 입사이온의 산란

각을 최대로 하여 다중산란된 이온의 검출이 최소화 되도록 개선된 Impact Collision Ion Scattering Spectroscopy(ICISS)가 1981년 Aono[3]에 의해 제안되어, 표면 분석 장비로서 크게 주목받고 있다. 이 방법이 표면 분석 장비로서 주목받고 있는 이유 중의 하나는 실험 원리 및 결과 분석이 극히 간단하고 명확하다는 것이다. 즉, 이전의 표면 분석에 주로 사용되어 왔던 전자나 광자와는 달리, 이온은 고체 표면원자와의 상호 작용 과정에서 고전적 입자[4]로 간주할 수 있기 때문에, shadowing effect와 blocking effect[5]로 불리는 간단한 고전적 현상에 의하여 스펙트럼의 분석이 아주 간단하게 된다. 그러나 이 실험에서는 정전에너지 분석기를 사용하였기 때문에 분석기 자체의 구조적 문제로 인하여 입사 이온의 방향과 검출기 사이의 산란각은 최대 167° 정도에 위치할 수 밖에 없어, 작기는 하나 여전히 다중산란 효과가 남아있게 된다. 그러므로 스펙트럼의 분석에서 이 효과를 무시할 수 없고, 결과적으로 표면구조의 정확한 분석에 제약을 받게 된다. 최근 TOF(Time of Flight) 에너지 분석기[6, 7]를 이용하여 이온원과 검출기를 동축상에

설치함으로써, 거의 180°로 산란된 이온만을 검출되도록 한 CAICISS(Coaxial Impact Collision Ion Scattering Spectroscopy)가 역시 Aono[8, 9]에 의해 제안되었다. CAICISS는 산란각이 거의 180°이기 때문에 다중산란 효과를 극소화할 수 있고, 최외각 표면원자에 의해 산란된 이온만을 검출하기 때문에, 표면원자의 검출감도가 뛰어나고[4], 표면원자의 원자간 거리, 결합방향, 완화(relaxation)[3], 결함(defect)[10], 표면 흡착원자의 위치[11] 등, 최외각 원자층의 기하학적 구조를 밝혀낼 수 있는 분석기법으로 크게 각광받고 있다.

본 연구에서는 TOF 에너지 분석기를 이용하여 CAICISS 장치를 제작하고, 제작된 장치의 특성을 He⁺ 과 Li⁺을 이용하여 조사하였다.

2. CAICISS 장치의 제작

본 연구진이 제작한 CAICISS 장치는 이온원과, 이온 수송관, 표적함들로 구성된 진공장치, 그리고 산란이온의 에너지를 분석하기 위한 TOF 에너지 분

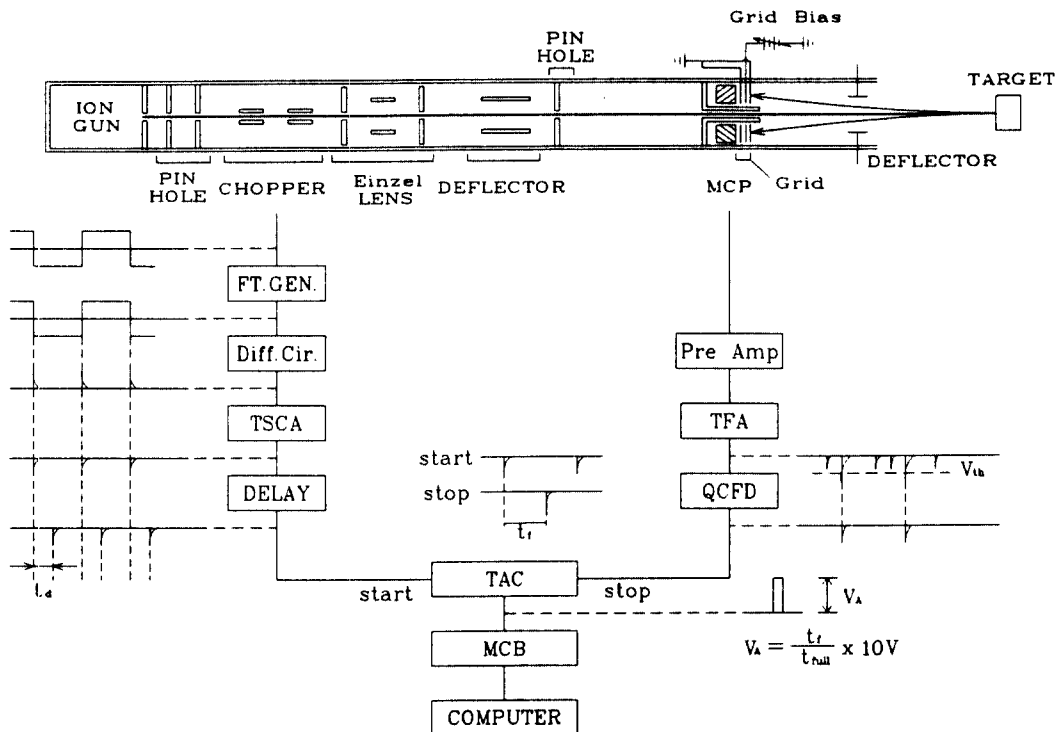


그림 1. CAICISS 장치의 개략도.

석기로 크게 나눌 수 있다. 그림 1은 본 연구진이 제작한 CAICISS 장치의 전체 개략도이다. 각 부분을 상세히 설명하면 다음과 같다.

2.1. 이온원

ISS 실험에서는 불활성 기체 이온이나 알칼리 금속 이온을 이온원으로 사용하는데, 불활성 기체 이온이나 알칼리 금속 이온은 각각이 갖는 장단점이 있다. 따라서 본 연구진이 제작한 CAICISS 장치는 불활성 기체 이온원과 알칼리 금속 이온원 둘 다 사용할 수 있도록 제작하였다. 불활성 기체 이온원은 상용화되어 있는 sputtering용 5 keV 이온원을 사용하였고, 알칼리 금속 이온원은 직접 제작하였다.

2.2. 이온 수송관

표적원자에 의해 산란된 원자의 에너지를 TOF 방법으로 측정하기 위해, 입사이온과 산란이온이 비행하는 이온 수송관은 그림 1과 같이 설계되어 있다. 즉, 이온원에서 방출된 이온은 직경 1 mm인 두 개의 pin hole과 chopper, deflector 그리고 검출기의 중앙에 뚫린 직경 0.5 mm인 pin hole을 통과하여 표적원자와 상호작용한 후, 실험실 좌표계에서의 산란각이 거의 180°인 이온만 검출기에 도달되도록 하였다. 이온원 앞에 설치된 두 개의 pin hole은 이온선을 가늘게 하기 위함이고, chopper는 방형파를 걸러줌으로써 가늘게 된 이온선을 전기적으로 sweep하기 위해서 부착하였다. 그리고 deflector는 검출기의 중앙 pin hole을 이온선이 정확히 통과하도록 이온선의 경로를 수정하기 위한 것이고, 검출기는 증폭율이 10⁸배인 tandem형 MCP(Micro Channel Plate)를 사용하였다.

2.3. TOF 에너지 분석기

본 연구진이 설치한 TOF 에너지 분석기의 개략도는 그림 1과 같다. 즉, 산란이온의 검출기로서 MCP를 사용하였고, PRE-AMP, TSCA(Timing Single-Channel Analyzer), TFA(Timing Filter Amplifier), QCDF(Quad Constant-Fraction Discriminator), DELAY, TAC(Time-to-Amplitude Converter), MCB(Multi-channel Buffer), function generator 등으로 구성되어 있다.

이온원에서 방출된 이온선은 두 개의 pin hole을

지나면서 가늘게 되어 chopper를 지난다. 이때 function generator를 이용하여 chopper에 25 kHz의 방형파를 인가하면 이온선은 어느 한 방향으로 전기적으로 sweep하게 된다. Sweep된 이온선은 MCP 중앙 pin hole과 동축을 이룰 때만 통과하므로, 표적에는 20 μsec(25 kHz의 방형파를 사용할 경우)의 간격으로 이온의 덩어리로 도달하게 된다. 이와 동시에 25 kHz의 방형파를 미분회로와 절대치회로, 그리고 TSCA를 이용하여 20 μsec의 간격의 negative logic 신호를 만들어, DELAY를 통과시킨 후 TAC의 시작 신호로 사용한다. 여기서 DELAY를 사용한 이유는 측정하고자 하는 양이 표적에서 검출기까지 산란이온의 비행시간이므로, chopper에서 표적까지의 비행 시간만큼 시작신호를 지연시켜 주어야 하기 때문이다. 입사이온은 표적원자와 상호작용 후, 거의 180°로 후방 산란된 극히 일부의 이온만 검출기에 도달하여 MCP 출력 신호를 발생시킨다. 이 신호는 pre-amp와 main amp(TFA)를 통하여 증폭되고, QCDF에서 잡음이 제거된 후 TAC의 끝신호로 기록된다. TAC에서 기록된 시작 신호와 끝 신호의 간격은 표적에서 검출기까지 산란이온의 비행시간이므로, 이 비행시간이 측정되면 산란이온의 에너지를 계산할 수 있다. 본 장치에서는 표적시료와 검출기간의 거리가 700 mm이고, 검출기(MCP)의 유효직경이 14.4 mm이므로 MCP의 검출유효면적에 해당하는 입체각은 1.4×10^{-3} 이 된다. 따라서 실험실 좌표계에서의 산란각이 거의 180°인 후방산란이온만 검출한다고 가정할 수 있다.

3. 제작된 CAICISS 장치의 특성

본 장치의 특성을 크게 두 가지 방법으로 조사하였다. 첫째는 동일한 표적시료에 대하여 입사이온의 에너지를 바꾸어 보고, 두번째는 입사이온의 에너지를 고정시켜 놓고 표적시료를 바꾸어 산란이온의 비행 시간이 계산값과 일치하는 지를 조사하였다. 실험을 시작하기 전에 우선 표적위치에서 빔의 특성을 알기 위해 빔 전류와 빔 직경을 측정하였다. 그림 2는 입사이온의 에너지에 따른 최대 빔전류를 측정한 결과로서, 입사이온의 에너지가 증가할수록 이온 전류도 증가함을 볼 수 있고, 빔 직경은 약 3 mm 정도였다. CAICISS 실험에서 이상적인 스펙트럼의 모양은 peak

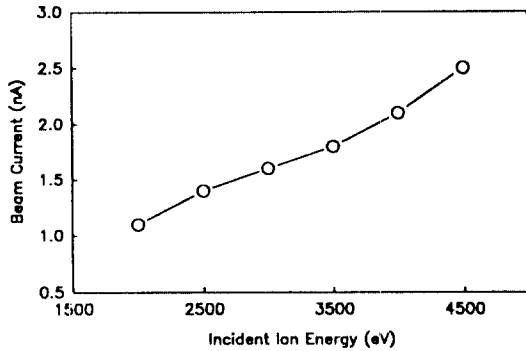


그림 2. 입사이온의 에너지 변화에 따른 표적위치에서의 최대 빔전류.

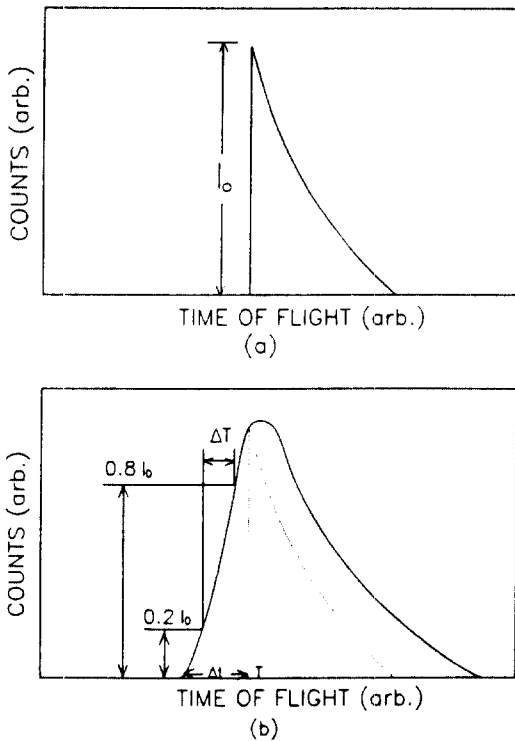


그림 3. 장치의 분해능을 평가할 수 있는 기준으로 사용할 수 있는 Δt 의 정의. (a) 장치의 특성으로 인하여 나타나는 시간 편차 Δt 가 전혀 없을 때의 스펙트럼, (b) Δt 가 전혀 없을 때의 스펙트럼 (점선)과 Δt 가 있을 때의 스펙트럼.

위치보다 높은 에너지쪽은 기울기가 매우 급하게 나타나고(그림 3(a))에서 peak 위치보다 왼쪽, 낮은 에너지쪽은 기울기가 완만한 tail이 있는 모양으로 나

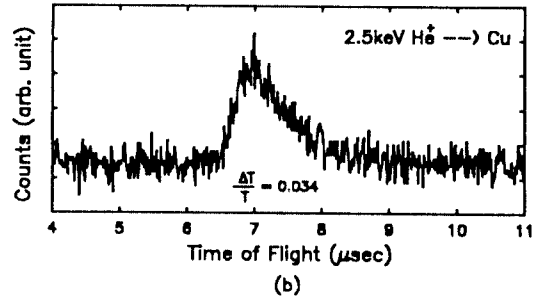
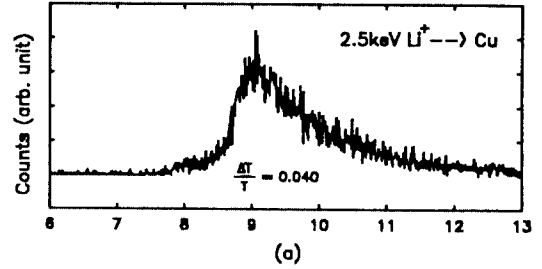


그림 4. 2.5 keV Li^+ 이온을 사용했을 때(a)와 같은 에너지의 He^+ 이온을 사용했을 때의 산란이온의 분포(b).

타는데(그림 3(b)의 peak 위치보다 오른쪽), 그 이유는 다음과 같다. 입사이온과 표적원자간의 상호작용 과정을 고전적 입자의 2체 충돌로 가정할 수 있기 때문에, 단일산란된 입자의 에너지는 다음과 같이 간단히 계산된다[12]

$$E_1 = E_0 \left(\frac{M_0}{M_0 + M} \right)^2 \left[\cos^2 \theta \pm \left(\frac{M^2}{M_0^2} - \sin^2 \theta \right)^{1/2} \right]^2 \quad (1)$$

여기서, E_0 와 E_1 은 입사이온과 산란이온의 에너지이고, M_0 와 M 은 입사이온과 표적원자의 질량, 그리고 θ 는 실험실좌표계에서의 산란각이다. 준-단일산란(quasi-single scattering)되어 가장 큰 에너지 E_1 을 갖는 입자들이 peak 위치에서 검출되기 때문에 peak 위치보다 높은 에너지쪽은 기울기가 매우 급하게 나타나는 반면, 낮은 에너지쪽은 이중산란, 삼중산란 등 다중산란되어 단일산란 입자의 에너지 E_1 보다 적은 에너지로 늦게 검출기에 도달하기 때문에 tail의 모양을 갖는다(그림 3(a)). 그러나 이온선이 sweep될 때 pin hole을 통과하는 일정시간 간격이 있고, 또 본 장치에서 방형파로부터 start 신호를 얻기 때문에 start 신호의 간격이 약간 달라질 수 있으므로, 같은 에너지 E_1 을 갖는 입자들이라도 이러한 원인으로 인하여 검

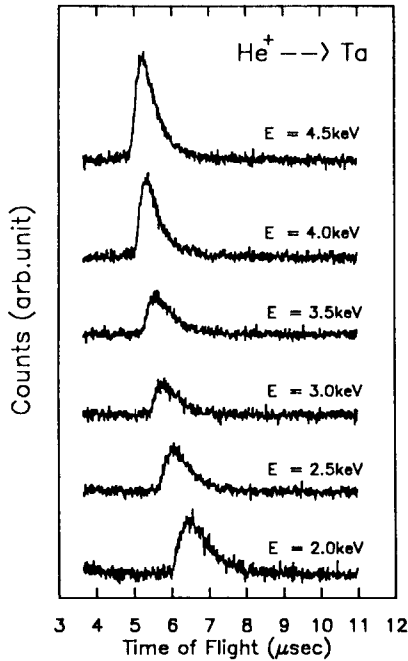


그림 5. 입사이온이 He⁺이고 표적시료가 Ta일 때, 입사이온의 에너지 변화에 따른 산란이온의 분포.

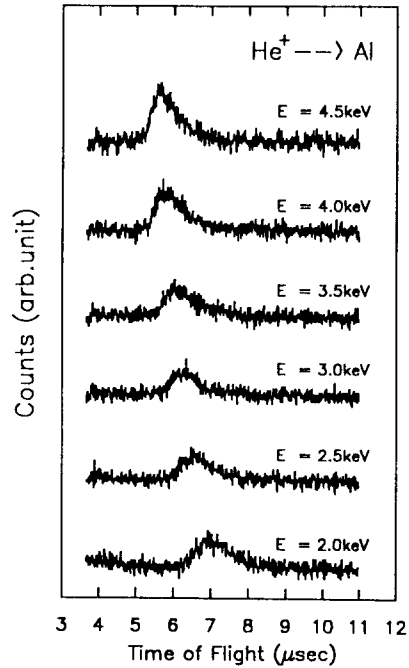


그림 6. 입사이온이 He⁺이고 표적시료가 Al일 때, 입사이온의 에너지 변화에 따른 산란이온의 분포.

출기에 도달하는 시간은 일정시간 간격만큼의 폭(Δt)을 가지고 분산되어 검출된다. 이 Δt 는 장비의 특성을 결정짓는 인자로서, Δt 가 클수록 peak 위치보다 높은 에너지쪽의 기울기는 완만하게 되고, peak도 Δt 에 준하는 만큼의 폭을 가지게 된다. 따라서 장치의 분해능을 평가하는 기준으로 사용할 수 있는 ΔT 를 높은 에너지쪽의 경사에서 최대강도의 20% 지점과 80%인 지점의 비행시간 간격으로 정의한다(그림 3(b)). 이 ΔT 와 peak 위치에 해당되는 비행시간 T 와의 비($\Delta T/T$)를 장치의 분해능으로도 해석할 수 있다.

그림 4는 본 장치를 사용하여 Cu 시료로부터 얻은 실험 스펙트럼으로, Li⁺ 이온을 사용했을 때(그림 4(a))와 He⁺ 이온을 이용했을 때(그림 4(b)) 두 경우의 $\Delta T/T$ 값을 비교한 결과이다. 그림 3(b)에서 정의한 $\Delta T/T$ 값을 계산한 결과(a)의 경우는 $\Delta T/T=0.04$, (b)의 경우는 $\Delta T/T=0.034$ 로서 Li⁺ 이온을 사용했을 때가 1.18배 더 크게 나왔다. 이것은 He⁺ 이온을 사용하는 경우가 분해능이 더 좋다는 것을 의미한다. 이 차이는 이온원에서 방출되는 이온의 에너지 안정도와 이온빔의 특성(빔반경)이 주원인으로 생각된다. 본

장치에서 ΔT 에 영향을 미치는 요인들을 분석해 보면, MCP에서 pre-amp로 신호가 전달될 때, TFA에서의 gain과 신호의 reshaping 과정에서 rising time, falling time의 선택, 그리고 chopper에 인가한 방형파의 특성 등을 들 수 있고, 이들을 개선할 경우 ΔT 값은 줄일 수 있을 것으로 본다.

그림 5와 그림 6은 각각 Ta 시료와 Al 시료에 He⁺ 이온의 에너지를 변화시키면서 얻은 스펙트럼이다. 본 장치를 설계할 때 표적위치와 검출기까지의 거리를 700 mm로 설계하였으며, 표적위치에 따른 장치의 특성을 조사하기 위하여 그림 5와 그림 6은 시료가 Ta와 Al일 때에 측정된 실험 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 입사이온 에너지의 변화에 따라 peak의 위치가 일정한 비율로 변하고 있음을 볼 수 있다.

그림 7은 그림 5와 6의 결과로부터 입사이온과 표적원자와의 상호작용을 고전적 2체 충돌로 계산한 결과[4]와 실험결과를 비교한 것이다. 이 그림에서 계산값인 총 비행시간(τ_{cal})은 chopper에서 표적까지 입사이온의 비행시간과 표적에서 검출기까지 산란이온의 비행시간을 합한 시간이다. 실험과정에서 DE-

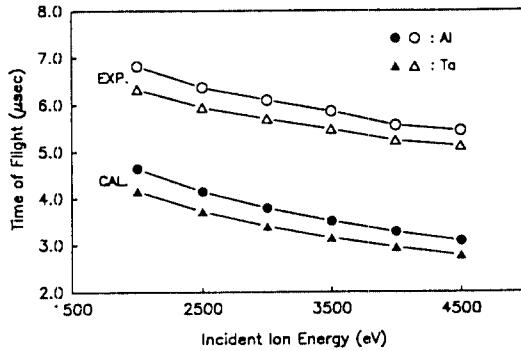


그림 7. 그림 5와 그림 6의 결과와, 입사이온과 표적원자와의 상호작용을 고전적 2체 탄성충돌 과정으로 계산한 결과와의 비교.

LAY의 지연시간을 0으로 두었기 때문에 실험결과의 비행시간도 역시 총 비행시간(τ_{exp})이다. 그림에서 보는 바와 같이 실험값과 계산값의 차이($\Delta\tau = \tau_{exp} - \tau_{cal}$)가 2.1~2.4 μsec 정도이고, 에너지가 증가할수록 $\Delta\tau$ 값이 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 이 차이는 크게 두 가지로 나누어 생각해 볼 수 있다. 첫째는 입사이온과 표적원자와의 상호작용 과정에서 발생할 수 있는 차이이다. 입사이온과 표적원자와의 상호작용은 탄성충돌 과정과 이온화, 여기, 전자교환 등으로 인한 비탄성충돌로 나눌 수 있다. 비탄성충돌로 인한 에너지 손실은 산란이온의 에너지에 비해 적기 때문에 (10~20 eV) 무시될 수도 있고[13, 14], 따라서 통상 ISS 실험에서는 근사적으로 탄성산란 과정만으로 산란에너지를 계산한다. 그러나 실제 실험 스펙트럼상에서 비탄성 에너지 손실로 인한 효과는, 2원자 산란으로 계산했을 때 예상되는 peak 위치보다 낮은 에너지쪽으로 이동되어 나타난다. 이 이유는 다음과 같다. 비탄성 산란으로 인한 에너지 손실 Q 는

$$Q = E_0 - (E_1 + E_2) \quad (2)$$

로 정의되므로[12], 실험상으로 나타나는 산란이온의 에너지는 $E_{1,exp} = E_0 - E_2 - Q$ 인 반면, 계산값은 $E_1 = E_0 - E_2$ 이다. 따라서 Q 로 인하여 E_1 보다 $E_{1,exp}$ 가 더 적어진다. 여기서 E_0 , E_1 , E_2 는 각각 입사이온의 에너지, 2체 충돌로 계산한 산란이온과 반발된 표적원자의 에너지이다. 입사이온의 에너지가 증가할수록 Q 값이 커지므로 이동폭은 더 커지는데, 실험결과도 같은 경향을 보인다. 두번째는 장비자체가 갖고 있는 지연시

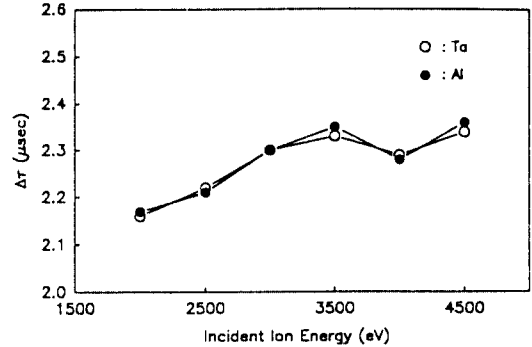


그림 8. 입사이온의 에너지 변화에 따른 $\Delta\tau$ 값의 변화와 보정함수. 여기서, $\Delta\tau$ 는 계산값(τ_{cal})과 실험값(τ_{exp})의 차이이다.

간이다. 그림 1의 장치 개략도에서 보여지고 있는 것처럼 산란된 이온은 MCP, pre-Amp, TFA, QCFD를 통하여 TAC의 stop 신호로 인식된다. Two stage MCP인 경우 MCP에서 약 2 ns의 지연시간이 생기고, TFA에서 파형을 정형할 때 미분상수 혹은 적분상수를 조정함에 따라 지연시간이 0.56~1.19 μs 생기며, Gain을 조정함에 따라 지연시간이 0.43~0.53 μs 생긴다. MCB를 영점조종함으로써 스펙트럼의 위치를 이동시킬 수 있다. 따라서 스펙트럼의 위치는 장비의 setup 상태에 따라 좌우되며, 통상 MCA(Multichannel Analyzer) 프로그램은 스펙트럼의 위치를 보정하여 사용하게 되어있다. 이러한 장비의 setup 상태에 따른 스펙트럼의 이동을 장비에 의한 지연시간이라 하면, 이 두 원인 중 비탄성충돌로 인한 에너지 이동은 10~20 eV로 적기 때문에 $\Delta\tau$ 는 장비에 의한 지연이 주원인으로 생각된다. 이 지연시간을 보정해 주기 위하여 Ta와 Al 각각에 대하여 실험값과 계산값의 비행시간차이($\Delta\tau$)를 에너지의 함수로 그린 것이 그림 8이다. Ta와 Al의 질량차이가 있기 때문에 산란이온의 에너지가 다르고 따라서 비행시간이 다르다. 그러나, 에너지 변화에 따른 $\Delta\tau$ 의 변화는 서로 비슷한 경향을 보이고 있어, $\Delta\tau$ 는 장비에 의한 지연시간이 주원인을 확인할 수 있다. 이 지연시간을 보정해 주기 위하여 그림 8을 1차 함수로 fitting한 결과 다음과 같은 보정함수를 얻을 수 있었다.

$$t_{cal}(\mu\text{sec}) = 4.798 \times 10^{-5} E_0 + 2.096 \quad (3)$$

여기서, t_{cal} 는 보정시간이고, E_0 는 입사이온의 에너지

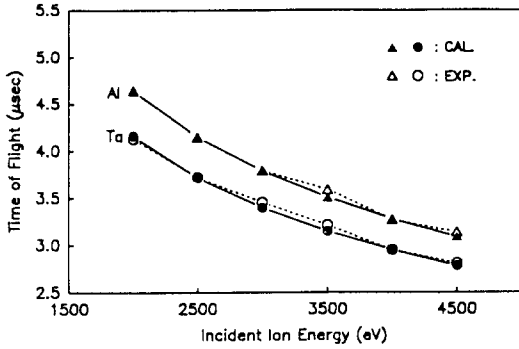


그림 9. 그림 7의 결과를 그림 8에서 얻은 보정함수를 이용하여 보정한 후, 실험 결과와 계산결과와의 비교.

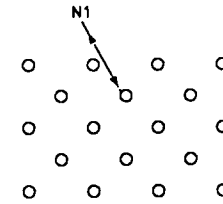
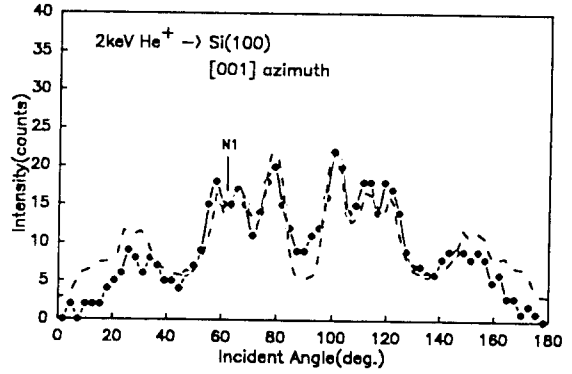


그림 11. 2 keV He⁺ 이온이 Si(100) 시료에 [110] 방위각으로 입사할 때 입사각에 따른 산란강도 분포.

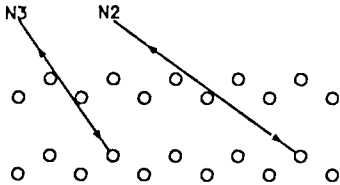
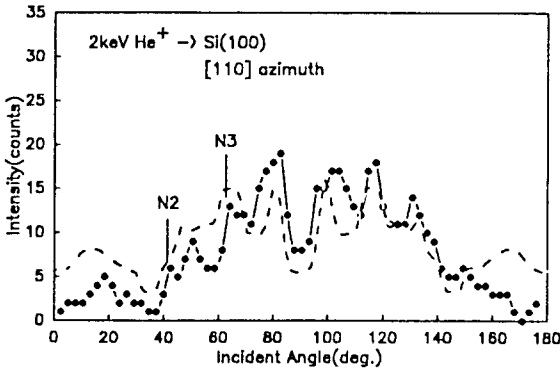


그림 10. 2 keV He⁺ 이온이 Si(100) 시료에 [001] 방위각으로 입사할 때 입사각에 따른 산란강도 분포.

(eV)이다. 이 보정함수를 이용하여 그림 7의 실험치를 보정하여 다시 그린 것이 그림 9이다. 표적원자의 질량이 서로 다름에도 불구하고 식 (3)으로 보정한 결과, 입사이온의 에너지 변화에 따른 실험값과 계산값이 서로 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 본 실험의 결과로부터 보정함수는 표적원자의 질량이나 입사이온의 에너지에는 무관하고, 단지 실험조건에만 의존함을 알 수 있다. 이상의 결과로부터 He⁺ 이온을 이용한 CAICISS 장치의 특성은 상당히 만족스럽다고 생각

된다. 물론 ΔT 를 좀더 줄여야 한다는 문제가 있으나 이 문제는 pulsing 장치와 비행시간 분석 장치를 보완한다면 충분히 해결가능하리라 본다.

그림 10과 11은 Si(100) 표면에 2 keV He⁺ 이온을 각각 [110]와 [001] 방향으로 조사하여 입사각에 따른 Si에 의한 산란강도를 나타낸 스펙트럼이다. 실선은 실험 스펙트럼을 나타내고, 점선은 simulation한 스펙트럼을 나타낸다. Simulation은 Z-B-L potential과 이 원자산란 모델을 이용하여 표면 밑에 4 원자층까지 고려한 것이다. 한 원자에 의한 산란강도의 분포는 그림 12와 같이 입사각에 따라 두 개의 최대값(A, B)이 나타난다. 이러한 특성과, 후방산란된 이온의 경로 및 입사이온선의 반경을 고려하여 적당한 방법으로 산란이온의 세기에 가중치를 주면 점선과 같은 simulation 스펙트럼이 나온다. 그림에서 보듯이 실험 스펙트럼과 simulation한 스펙트럼은 잘 일치함을 알 수 있다. 스펙트럼에서 표면 최외각층에 대한 정보를 알려주는 낮은 입사각에서의 세기가 약한 것은 표면의 cleaning 및 이온선의 반경 문제인 것으로 추측된다. 따라서 표면 밑 1~2 원자층에 존재하는 Si 원자들에 의한 스펙트럼을 분석하면 표 1과 같다. 이때 실험 스펙트럼으로부터 임계각(α_c)을 구하기 위해 universal

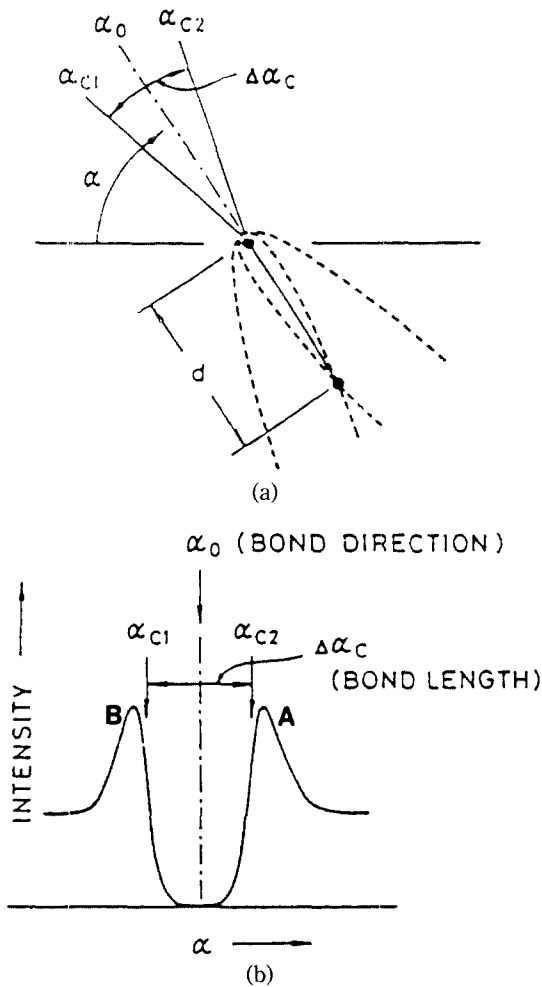


그림 12. 입사각에 따른 전형적인 산란강도 분포.

표 1. 각 원자에 의한 산란 강도 스펙트럼 분석

Azimuth	Atom	α (입사각)	
		Exp.(deg.)	Cal.(deg.)
[001]	N1	62.7°	62.5°
[110]	N2	41.8°	41.6°
	N3	63.3°	63.5°

relationship[15, 16]을 이용했다. [001] 방향인 경우 N1 원자에 의한 입사각은, 실험 스펙트럼에 universal relationship을 이용했을 때 62.7°, Z-B-L 포텐셜을 이용한 계산값이 62.5°로 실험치와 계산값이 매우 잘 일치함을 알 수 있다. [110] 방향인 경우 N2 원자와

N3 원자에 대한 입사각을 Z-B-L 포텐셜을 이용하여 계산하면 각각 41.6°, 63.5°이고, 실험 스펙트럼으로부터 구한 입사각은 41.8°와 63.3°로 역시 실험치와 계산치가 잘 일치함을 알 수 있다. 그 외에 여러 원자들에 대한 분석은 계속되는 실험으로 보강할 수 있다.

지금까지의 결과로 CAICISS 장치는 표면의 1~4 원자층에 대한 기하학적인 구조를 알아내는데 매우 유용한 장치임을 알 수 있다.

4. 결 론

CAICISS 장치를 제작하고 He⁺ 이온을 사용하여 장치의 특성을 조사하였다. CAICISS 스펙트럼으로부터 장치의 분해능을 평가하는 기준으로 사용할 수 있는 ΔT 를 정의하고 Li⁺ 이온을 사용한 결과와 비교하였다. 그 결과 Li⁺ 이온을 사용한 경우는 $\Delta T/T=0.04$, He⁺ 이온을 사용한 경우는 $\Delta T/T=0.034$ 로서, He⁺ 이온을 사용한 경우가 분해능이 더 좋은 것으로 나타났다. 실험결과 분석에 필수적인 보정함수는 입사이온의 에너지나 표면원자의 질량에는 무관하고, 단지 실험조건에 의존함을 알았고, 실험값과 이론값을 비교한 결과 잘 일치함을 알 수 있었다. Si(100) 표면에 대해 He⁺ 이온의 입사각에 따른 산란 강도 분포 스펙트럼으로부터 Si 원자들의 표면 1~4 원자층에 대한 기하학적인 구조를 분석하는데 매우 유용함을 확인하였다. 따라서 본 연구에서 제작한 CAICISS 장치는 표면원자의 기하학적인 구조분석에 응용할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 과학재단 연구비에 의한 것임.

참고문헌

1. D. P. Smith, *J. Appl. Phys.* **38**, 340 (1967).
2. J. M. Walls, *Methods of Surface Analysis*, (Cambridge Univ. Press, 1987).
3. M. Aono and C. Oshima, *et al.*, *Jpn. J. Appl. Phys.* **20**, L829 (1981).
4. M. Aono and R. Souda, *Jpn. J. Appl. Phys.* **24**, 1249

- (1985).
5. O. D. Oen, *Surf. Sci.* **131**, L407 (1983).
 6. H. Niehus and G. Comsa, *Nucl. Instr. and Meth.* **B15**, 122 (1986).
 7. H. Niehus, C. Hiller and G. Comsa, *Surf. Sci.* **173**, L599 (1986).
 8. K. Katayama, E. Nomura, N. Kanekama, H. Soejima and M. Aono, *Nucl. Instr. and Meth.* **B33**, 857 (1988).
 9. M. Aono, M. Katayama, E. Nomura, T. Chasse, D. S. Choi and M. Kato, *Nucl. Instr. and Meth.* **B37/38**, 264 (1989).
 10. M. Aono, Y. Hou, R. Souda, C. Oshima, S. Otani and Y. Ishizawa, *Phys. Rev. Lett.* **50**(17), 1293 (1983).
 11. R. Souda, C. Oshima, S. Otani and Y. Ishizawa, *Surf. Sci.* **199**, 154 (1988).
 12. T. Yamashida and S. Fukuda, 表面分析の基礎と應用, 東京大學出版會 (1991) p. 8.
 13. M. Aono and R. Souda, *Nucl. Instr. and Meth.* **B27**, 55 (1987).
 14. F. Shoji and Hanawa, *Nucl. Instr. and Meth.* **B2**, 401 (1984).
 15. K. S. Kim, N. G. Park, Y. W. Kim, S. S. Kim, H. J. Yun, D. S. Choi and C. N. Whang, *Kor. Appl. Phys.* **6**(3), 205 (1993).
 16. S. S. Kim, K. S. Kim, N. G. Park, Y. W. Kim, K. H. Jeong, D. S. Choi and C. N. Whang, *J. Kor. Phys. Soc.* **26**(5), 485 (1993).