[IV~18]

Si(100) 표면 위에 성장시킨 β-$FeSi_2$의 ARUPS 연구

김건호[1], 임태균[1], 한상욱[1], 김현수[1], 이정주[1], 강정수[2], 정재인[3], 홍재화[3]
1) 경상대 물리학과, 2) 가톨릭대 물리학과, 3) RIST

1. 서론

깨끗한 Si(100) 표면은 2×1 구조로 재구성하며, 이 표면은 전자산업에서 소자로서 이용되는 기술적인 중요성 때문에 지금까지 원자구조 및 전자구조에 대해 많이 연구된 표면 중의 하나이다. 대부분의 전이금속 실리사이드는 금속성인데 반해 β-$FeSi_2$는 약 0.8 eV~1.0 eV의 좁은 띠간격(band gap)을 갖는 반도체성으로 직접전이 띠구조를 가지는 것으로 알려져 있다. 이 물질을 광전소자(optoelectronic device)로서 이용하기 위해 Si 기판 위에 에피택시로 성장시키려는 많은 노력이 있었고, 또한 전자구조에 대해서도 이론적으로나 실험적으로 많은 연구가 이루어지고 있다.

본 연구에서는 ARUPS(angle-resolved ultraviolet photoemission spectroscopy)를 이용하여 초고진공에서 원자적으로 깨끗한 Si(100)-2×1의 전자구조를 관찰하고, 이 표면에 RDE (reactive deposition epitaxy) 방법으로 β-$FeSi_2$를 에피택시 성장시킨 후 표면의 전자구조를 관찰하고 이를 Si(100)-2×1 표면의 전자구조와 비교하였다.

2. 실험

본 실험은 포항산업과학연구원에 설치되어 있는 각분해 광전자 분광 분석기를 이용하여 수행되었다. 기판은 p-type Si(100) 웨이퍼로 비저항은 5 Ωcm였다. 기판에 직류전류를 통전시켜 약 800℃에서 약 15분간 가열한 후 약 1200℃로 수초간 순간가열(flash heating)을 수회 반복하여 표면의 불순물을 제거하였다. 그 결과 표면재구성된 Si(100)-2×1 : two domain의 LEED 상을 관찰하였고 ARUPS로 전자구조를 조사하였다. 그리고, 웨이퍼를 약 600℃로 유지하면서 Fe를 약 30Å정도 증착하였다. 증착이 끝난 후 약 1분간 더 가열하여 β-$FeSi_2$를 형성한 후 다시 LEED 상과 ARUPS를 측정하였다. ARUPS 측정은 입사각을 55° 로 고정시킨 채 Si(100) 표면 Brillouin 영역(SBZ)의 $\overline{\Gamma} - \overline{J}_{a,b}$ 방향([010] 방향)을 따라 수직방향에서 2° 간격으로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Si(100) 표면의 LEED 관찰에서 뚜렷한 2×1 : two domain 상을 관찰하였고 이 LEED 상을 근거로 하여 ARUPS 스펙트럼을 측정하였다. Figure 1은 21.2 eV의 광자에너지를 이용하여 Si(100) 표면에 대해 [010] 방향으로 2° 간격으로 측정한 ARUPS 스펙트럼이다. 수직방향으로 측정한 스펙트럼에서 약 -0.5 eV에서 뚜렷한 피크가 관찰되며 이 피크는 방출각이 증가함에 따라 두 개의 피크로 나누어진다. 그 중 -0.7 eV에서 관찰되는 피크는 분산이 거의 관찰되지 않지만 낮은 에너지 쪽의 다른 피크는 뚜렷한 분산이 관찰되며 측정된 띠폭은 약 0.8 eV이다. 방출각이 24° ~ 42° 영역에서는 약 -2 eV 근방에 뚜렷한 분산을 보이는 피크와 약 -3.3 eV에서 약한 분산을 보이는 강한 피크가 관찰된다. 이 피크들은 표면상태 혹은 표면공명(surface resonance) 상태로 알려져 있다. 약 -4 eV ~ -5 eV 사이에 관측되는 피크들은 덩어리 상태(bulk state)로 생각된다.

RDE 방법으로 Si(100) 표면 위에 형성시킨 β-$FeSi_2$의 LEED 관찰에서는 이전에 보고된 LEED 상과 같음을 알 수 있었으며 이는 Si(100) 위에 β-$FeSi_2$가 잘 형성되었음을 나타낸다. 이러한 LEED 상의 관찰 후에 21.2 eV의 광자를 이용하여 ARUPS 스펙트럼을 측정하였다. Figure 2는 β-$FeSi_2$ 표면에 대해 Si(100) 표면의 [010] 방향으로 2° 간격으로 측정한 ARUPS 스펙트럼이다. 그림에서 관찰할 수 있는 바와 같이 스펙트럼의 모양은 0 eV ~ -2 eV 영역에 걸친 하나의 넓은 피크형태로 이 피크들의 분산은 관찰되지 않았다. 이 피크들은 주로 Fe 3d 전자방출에 의한 것으로 생각된다. 이러한 결과는 이전에 보고된 β-$FeSi_2$의 모양과 비슷함을 알 수 있으며 약 -0.5 eV ~ -2 eV 영역에서 몇 개의 피크가 중첩되어 있는 것으로 생각된다.

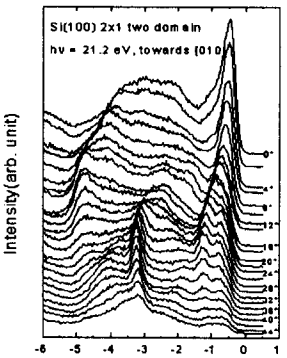

Fig. 1 ARUPS spectra of Si(100)-2x1 along the [010] direction

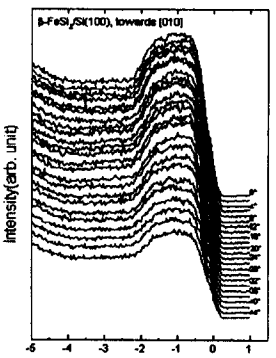

Fig. 2 ARUPS spectra of β-$FeSi_2$ along the [010] direction.

4. 결론

ARUPS를 이용하여 초고진공에서 원자적으로 깨끗한 Si(100)-2×1 : two domain 의 전자구조를 관찰하고 RDE 방법으로 깨끗한 Si(100) 표면 위에 Fe를 약 30 A정도 증착하여 형성시킨 β-$FeSi_2$의 전자구조를 관찰하였다.

Si(100)-2×1 표면의 ARUPS 스펙트럼에서 표면 상태 혹은 표면공명 상태로 잘 알려진 피크들을 확인할 수 있었으나, β-$FeSi_2$의 ARUPS 스펙트럼에서는 피크들의 분산은 관찰할 수 없었으며, 약 -0.5 eV ~ -2 eV 영역에서 여러 개의 피크들이 중첩되어 있음을 알 수 있었다. β-$FeSi_2$/Si(100)의 띠구조에 대한 정보를 얻기 위해서 좀더 정밀한 ARUPS 연구가 현재 진행중이다.