Journal of the Korean Vacuum Society
Vol. 6, No. 2, April 1997, pp. 165~171

광전자분광법을 이용한 Pd-실리사이드의 형성 연구

조은진 · 최일상* · 이한길* · 황찬용*

전남대학교 자연과학대학 물리학과
*한국표준과학연구원 소재특성평가센터부
(1997년 2월 18일 접수)

Study of the formation of Pd-silicide with x-ray photoelectron spectroscopy

En-Jin Cho, Ilsang Choi*, Hangil Lee* and Chanyong Hwang*

Department of Physics, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea
**Material Evaluation Center, Korea Research Institute of Standards and Science, Daejon 305-600, Korea*
(Received February 18, 1997)

요 약 – Pd 금속을 9 Å보다 많은 양을 Si 표면에 증착한 경우에 형성되는 Pd-실리사이드는 순수한 Pd 금속이 쌓이기 전단계인 Pd 양이 많은 Pd_3Si 상이다. 또한, Si 표면에 Pd 금속을 1 Å 이상을 증착 하였을 때 형성되는 Pd-실리사이드는 Pd_2Si 상이다. 그리고, Si 표면에 Pd 금속을 1 Å보다 작은 양을 증착한 Pd 3d 내각준위의 분광을 보면, Pd의 증착 두께가 얇아질수록 Pd 3d 내각준위의 반높이에서 반너비(half width at half maximum: HWHM)의 크기가 넓어진다. 매우 작은 양의 Pd 금속을 Si 표면에 증착한 경우에 반너비가 넓어진 이유는 많은 연구자들이 찾아낸 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상외에 Si 양이 많은 새로운 Pd-실리사이드인 PdSi 상이 존재하는 것 때문이다.

Abstract – If the thickness of Pd deposited is larger than 9 Å, its phase is Pd_3Si. This phase is followed by pure Pd phase with further deposition of Pd. Also, when the thickness of Pd deposited on top of Si (111) is larger than 1 Å, the phase of Pd-silicide formed is found to be Pd_2Si. The full width at half maximum of Pd 3d core-levels increases with decreasing of Pd film thickness at low coverages ($\leq$0.5 Å). This is due to the formation of additional phase of Pd silicide, i.e. PdSi, in addition to Pd_2Si.

1. 서 론

미세과정 소자(microprocess device)나 반도체 기억 소자(semiconductor memory divice)에서 가장 근본적인 물질계는 금속-산화물-반도체(metal-oxide-semiconductor)로 구성되어 있다[1]. 금속-산화물-반도체를 사용한 반도체 기억 소자나 미세과정 소자의 성능에 영향을 미치는 요인중에는 각각의 박막의 상태 뿐만이 아니라 산화층 및 회로와의 연결을 돕는 금속층의 역할이 매우 중요하다. 지금까지는 금속-산화물-반도체로 구성된 반도체 소자에서는 비정질(amorphous) Si에 첨가(doping)를 많이 해서 금속이 되게 한 후에 Au나 Ag로서 연결해서 사용했거나, 전이금속-실리사이드(transition metal-silicide)와 비정질 Si를 혼합해서 금속층을 만들어서 사용했다. 금속-산화물-반도체로 구성된 반도체 소자에 존재하는 금속-반도체(metal-semiconductor)의 계면은 그 계면의 성질에 따라서 소자의 성능이 변화하는 만큼 매우 중요한 의미를 갖는다. 그러므로 금속-산화물-반도체를 이용한 반도체 소자에서 중요한 것의 하나가 금속-반도체 접촉(contact)에 관한 연구이다. 또한 그 중에 한 분야가 전이금속과 Si 사이에 만들어지는 실리사이드에 관한 것이다. 전이금속과 Si사이에 형성되는 전이금속-실리사이드에서는 Ohmic 접촉이나 또는 Schottkey 장벽(barrier)이 만들어질 가능성이 있다[2,3]. 많은 전이금속-

실리사이드 연구로부터 Schottkey 장벽이 보다 낮아지고, 전이금속-실리사이드 금속 형성으로 산화층및 반도체 위에 직접적으로 금속층을 형성할 수 있음을 알았다. 그리고 Schottkey 장벽높이(barrier height)가 전이금속-실리사이드에서 낮아지는 현상 때문에, 전이금속-실리사이드를 이용하여 소자를 만들었을 때에 적은 전압을 사용하여 소자를 작동할 수 있으므로 전력의 소비를 절약할 수도 있다.

전이금속-실리사이드에 관한 연구는 산업적인 응용뿐만아니라, 기초적인 물성 연구에서도 많은 관심을 모은다. 먼저 반도체인 Si과 전이금속이 반응을 해서 전이금속의 전자구조가 변화하는 원인을 조사할 수도 있고 반도체인 Si의 결합상태의 변화를 연구할 수도 있다. 또한 전이금속-실리사이드가 형성되면서 물성에 영향을 주는 전자구조의 변화와 원자구조사이의 상관관계를 연구하는 것도 흥미롭다[4-14]. 이는 표면의 원자구조가 다르게 나타나는 경우에 결합상태가 변화하는 것과 관련이 있다. 많은 전이금속-실리사이드가 형성되었을 때 보이는 현상은 주로 전이금속의 d전자에 변화를 준다. 그 중에서 d전자가 거의 10개 가까이에 있는 Pd 금속과 Si사이의 반응으로 생성되는 Pd-실리사이드에서는 Pd d 전자 스펙트럼의 변화에 큰 관심이 있다. 일반적으로 Pd 금속은 Pd보다 전기음성도가 큰 금속들과 금속간 화합물을 만들었을 때 Pd의 d 전자띠가 채워지는 것으로 알려져 있다[15]. 물론 Pd 금속이 Si과 반응하여 형성되는 Pd-실리사이드에서도 역시 Pd의 d전자띠가 채워지는 것이 알려져있다[4,9]. Pd-실리사이드에는 여러 가지의 안정된 상들이 존재하는데, Si의 양이 증가함에 따라 Pd의 d 전자의 수가 10개에 근접하게 되고, 이 d 전자에 의한 에너지띠(energy band)의 중심이 Fermi 준위에서 멀어지게 된다.

현재까지의 연구결과에 의하면 깨끗한 Si 기판위에 Pd 금속을 증착하였을 때 여러종류의 Pd-실리사이드 상이 형성되고, 형성된 상의 원자구조는 저에너지전자회절(low energy electron diffraction; LEED) 실험장치나 주사형꿰뚫기현미경(scanning tunneling microscopy; STM)으로 조사하여 여러종류의 원자배열이 존재하는 것이 밝혀졌다[6-8]. 뿐만아니라 깨끗한 Si 기판에 증착된 Pd금속이 열처리(annealing)에 대해서 변화되는 모습들도 연구가 이루어졌다[6-8,10]. 현재까지 알려진 것은 Pd-실리사이드는 상온에서 이미 열처리와 무관하게 형성된다는 것이다. 또한 방사광을 이용한 광전자분광법(photoelectron spectroscopy; PES) 실험결과도 이미 알려져 있는데, 초기에서 얻어지는 Pd-실리사이드의 전자구조 스펙트럼들에 의하면, 역시 상온에서 Pd 금속을 증착했을 때 Pd-실리사이드가 형성됨을 알 수 있다[10,13].

본 연구에서는 상온에서 깨끗한 Si 기판위에 Pd 금속을 증착하면서 형성되는 Pd-실리사이드의 전자구조를 조사하고자 한다. 이미 많은 원자구조에 관한 연구가 진행되어서 0.5 단층(monolayer) 이상의 Pd 금속이 증착되었을 때에 형성되는 Pd-실리사이드의 원자구조는 잘 알려져 있다[6-13]. 알고 있는 Pd-실리사이드의 원자구조에서의 전자구조 연구, 원자구조와 전자구조 사이의 상관관계를 조사하기 위해서 x-선 광전자분광법(x-ray photoelectron spectroscopy; XPS)을 사용하여 연구하였다. 또한 연구가 진행되지 않은 영역인 0.5 단층보다 작은 양의 Pd 금속을 증착했을 때에 형성되는 Pd-실리사이드의 상을 x-선 광전자분광법으로 조사하고자 한다. 그리고 Pd 금속을 보다 두껍게 증착해서 열처리를 하기 전에 어떠한 Pd-실리사이드의 상이 형성되는 지를 연구하고자 한다.

2. 실험방법

본 실험에서 사용한 Si(111) 기판을 깨끗이 하기 위해서 800°C 근처에서 장시간 동안 열처리를 한 후에 여러번의 순간열처리(flashing)을 1300°C 근처까지 올려서 수행하였다. Si 기판이 깨끗한 지를 x-선 광전자분광법을 사용하여 C 1s와 O 1s의 내각준위의 스펙트럼을 얻어서 조사하였다. Pd 금속을 증착하기 위해서는 전자빔 가열(electron beam heating) 장치를 이용하였는데, Pd 금속을 증착하기 전에 장시간 동안의 열처리를 통해서 Pd 금속에 존재하는 불순물을 날려보냈다. 충분한 시간 동안 열처리를 한 후에 Pd 금속을 대략 0.5 Å/min 정도로 증착을 했는데, 이때 증착을 하는 진공용기(chamber)의 진공은 5×10^{-10}torr를 넘지 않았다. 여러종류의 두께를 갖는 Pd 금속을 증착해서 실험을 수행하는 과정은 다음과 같다. 광전자분광법으로 얻어진 스펙트럼들 중에서 그림 1과 그림 2는 Pd 금속을 연속적으로 Si(111) 표면에 증착해서 얻어진 결과에 해당된다. 반면에 나머지 그림들은 증착한 Pd 금속의 양을 정확하게 추정하기 위해서 다음과 같은 방법으로 실험을 반복해서 수행하였다. Pd 금속을 증착한 후에 실험을 수행하고, Ar^+ 이온때려내기(ion sputtering)를 이용하여 Pd 금속을 제거

한다. Si 기판을 깨끗하게 하기 위해서 열처리와 순간열처리를 반복해서 수행하였다. 또한 Pd 금속을 Si 기판에 증착하는 동안에 기판의 온도는 상온을 유지했고, 상온에서 x-선 광전자분광법 실험을 수행하는 동안에 이미 Pd-실리사이드 상이 형성된것이 확인된 시료에 대해서 열처리를 수행하지는 않았다. x-선 광전자분광법 실험은 VG사의 ESCALAB220 system을 이용하여 수행하였다. 진공용기의 기본 압력은 1×10^{-10}torr 이하였다. 실험장치는 동축반원형분석기(concentric hemispherical ananlyzer)가 부착되어 있다. 실험결과로 얻는 내각준위 스펙트럼들의 분해능을 좋게 하기 위해서 Al K_α x-선을 단색화장치(monochromator)를 이용하여 기기 분해능을 약 0.3 eV정도로 단색화하였다. Pd 금속을 증착했을 때에 얻은 스펙트럼들의 깨끗한 정도는 O 1s와 C 1s 내각준위의 스펙트럼을 조사해서 판단했다. 실험을 수행하는 동안의 진공용기의 진공은 2×10^{-10}torr를 넘지 않았다.

3. 실험결과와 분석

그림 1은 Pd 금속을 Si(111) 표면에 증착하면서 얻어진 Pd 3d 내각준위에 대한 스펙트럼(spectrum)의 변화를 나타낸다. 그림 1의 모든 스펙트럼들은 광전자분광법에 의해서 얻어진 실험자료를 최고값으로 틀맞춤(normalization)을 해서 보여준 것들이다. 그림 1에서 보이는 두 봉우리는 Pd 3d의 내각준위의 스핀-궤도 분리에 의한 것으로, 이 두 봉우리 사이의 간격은 약 5.3 eV에 해당한다. Pd 3d 내각준위 스펙트럼들 옆에 쓰여진 숫자들은 증착된 Pd의 두께를 나타낸다. Pd의 증착율은 1분당 0.5 Å이며 이값은 금속 Pd가 생기기 시작하는 스펙트럼으로부터 얻을수 있었다.

Pd 금속을 Si 표면에 많이 증착하기 전에는 비슷한 상을 보인다. 그러나 많은 양의 Pd 금속을 Si 표면에 증착하는 경우에 Pd 3d 내각준위 스펙트럼의 결합에너지가 순수한 Pd 금속에서 나오는 Pd 3d 내각준위의 결합에너지인 335.2 eV가 됨을 알 수 있다[16]. 따라서 스펙트럼에서 보면 29 Å보다 많은 양의 Pd 금속을 Si 표면에 증착할 경우 얻은 Pd 3d 내각준위의 스펙트럼들은 순수한 Pd 금속에서 나오는 것이다. 그러나 대략 9 Å에서 24 Å까지 Pd 금속을 Si 표면에 증착한 경우에는 순수한 Pd 금속과 Si과 반응으로 생긴 상들이 혼재해서 존재한다. Pd 금속을 Si 표면에 9 Å보다 적은 양을 증착한 경우에 보이는 것은 Pd 금속과 Si 사이에 반응으로 형성되는

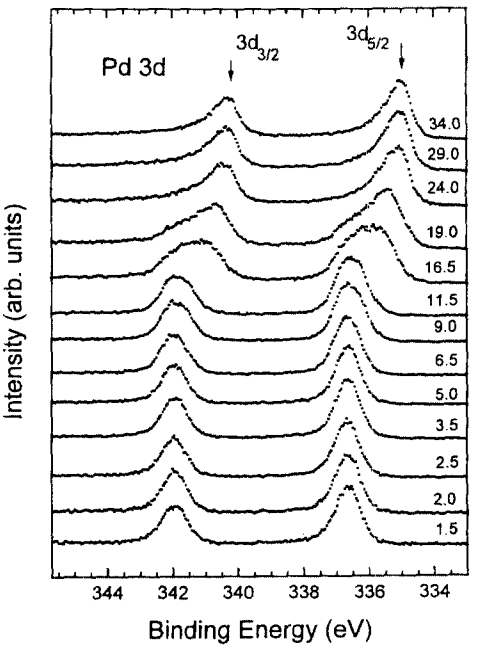

그림 1. Pd 금속을 Si 표면에 1 Å보다 많은 양을 증착한 경우의 Pd 3d 내각준위의 분광들. 336.7 eV 근처에 있는 봉오리는 Pd $3d_{5/2}$에 관련된 것이고, 342.0 eV 근처에 있는 봉오리는 Pd $3d_{3/2}$에서 나오는 분광들이다. 각 분광들 옆에 쓰여진 숫자들은 Pd의 두께를 나타낸다. Pd 금속의 증착되는 비율은 1분당 0.5 Å 정도이다.

Pd-실리사이드이다. Pd_2Si 화합물의 Pd 3d 내각준위의 결합에너지가 336.8 eV에 해당되는데[11], 그림 1에서 광전자분광법 실험에서 얻은 Pd 3d 내각준위의 결합에너지가 336.7 eV이므로 형성되는 Pd-실리사이드는 Pd_2Si 상이라고 말할 수 있다. Pd 금속을 Si 표면에 증착하는 동안에 Si 기판의 온도는 상온을 유지하고 있었다. 그러므로 광전자분광법 실험에서 얻은 Pd 3d 내각준위 스펙트럼은 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상에서 나오는 것이므로 Pd-실리사이드를 형성하는데 필요한 활성화에너지(activation energy)는 상온보다 작다고 할 수 있다. 또한 9 Å보다 많은 양을 증착한 경우에는 순수한 Pd 금속에 의한 Pd 3d 내각준위 스펙트럼과 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상에 의한 Pd 3d 내각준위 스펙트럼사이에 새로운 Pd-실리사이드에 의한 Pd 3d 내각준위의 스펙트럼이 존재한다. Pd_3Si 화합물의 Pd 3d 내각준위의 결합에너지가 336.2 eV 인데[17] 새로운 Pd-실리사이드에 의한 Pd 3d 내각준위의 결합에너지가 336.2 eV이므로, Pd 금속의 양이 많은 Pd-실리사이드인 Pd_3Si 상이다. 따라서 기

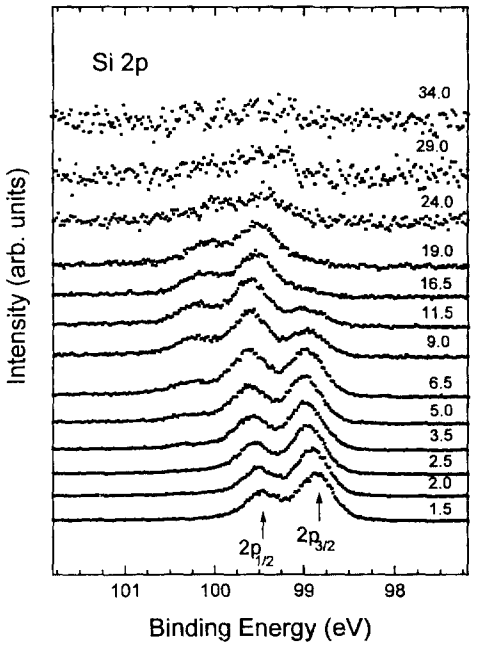

그림 2. Pd 금속을 Si 표면에 1 Å보다 많은 양을 증착한 경우의 Si 2p 내각준위의 분광들. 99.0 eV 근처에 있는 봉오리는 Si $2p_{3/2}$에 관련된 것이고, 99.6 eV 근처에 있는 봉오리는 Si $2p_{1/2}$에서 나오는 분광들이다. 각 분광들 옆에 쓰여진 숫자들은 Pd의 두께를 나타낸다.

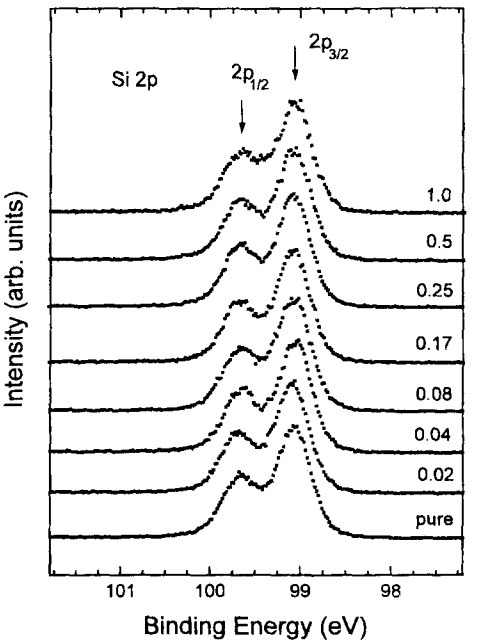

그림 3. Pd 금속을 Si 표면에 1 Å보다 작은 양을 증착한 경우의 Si 2p 내각준위의 분광들. 99.0 eV 근처에 있는 봉오리는 Si $2p_{3/2}$에 관련된 것이고, 99.6 eV 근처에 있는 봉오리는 Si $2p_{1/2}$에서 나오는 분광들이다. 각 분광들 옆에 쓰여진 숫자들은 Pd의 두께를 나타낸다. 아래쪽 Si 2p 내각준위의 분광은 순수한 Si 반도체에서 광전자분광법 실험으로 얻은 실험자료이다.

판의 온도가 상온인 경우에 Pd_3Si 화합물의 형성은 약 9 Å의 Pd와의 반응으로 생긴다는 사실을 알 수 있다.

그림 2는 그림 1에서와 같은 조건하에서 얻어진 Si 2p 내각준위 스펙트럼들이다. 그림 2의 모든 스펙트럼들은 광전자분광법에 의해서 얻어진 실험자료를 최고값으로 틀맞춤을 해서 보여준 것들이다. Si 2p 내각준위의 두 봉우리 역시 스핀-궤도 분리에서 나오는 것이다. 그림 2에서 보듯이 29 Å보다 많은 양의 Pd 금속을 증착한 경우에 Si 2p 내각준위 스펙트럼은 거의 안보인다. 이는 Pd 3d 내각준위 스펙트럼들인 그림 1의 결과와 일치한다. 그러나 그림 2에서 얻은 Si 2p 내각준위 스펙트럼에서는 그림 1의 Pd 3d 내각준위의 스펙트럼과는 다르게 대략 2 Å보다 적은 양의 Pd 금속을 증착한 경우에 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상에 의한 Si 2p 내각준위 스펙트럼 성분이 없는 것같이 보인다. 그러나 이러한 현상은 광전자분광법 실험에서 전자의 평균자유행로(mean free path)는 전자의 운동에너지에 의존해서 변화한다는 것을 고려하면 설명이 가능하다[18]. Al K_α에서 나오는 x-선을 사용하는 경우에 Si 2p 내각준위의 결합에너지에 해당되는 전자의 운동에너지는 대략 1387 eV가 된다. 이 경우에 전자의 평균자유행로에 관한 보편곡선(universal curve)에 따르면, 평균자유행로가 대략 20 Å정도가 된다[18]. 그러므로 Pd 금속을 Si 표면에 2 Å보다 작게 증착한 경우에 형성되는 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상에 의한 Si 2p 내각준위의 강도(intensity)에 대한 순수한 Si 반도체에서 나오는 Si 2p 내각준위의 강도비는 대략 1%보다 작게 되므로 광전자분광법 실험에서 관찰하는 것이 상당히 어렵다. 그러나 대략 2 Å보다 많은 양의 Pd 금속을 Si 표면에 증착한 경우에는 대략 99.7과 100.3 eV 근처에 새로운 봉오리가 보인다. 이 봉오리가 Pd 3d 내각준위 스펙트럼에서 얻은 결과와 Pd_2Si 화합물의 Si 2p 내각준위의 결합에너지를 사용하면 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상에서 나오는 Si 2p 내각준위 스펙트럼이다. Si 표면에 증착되는 Pd 금속이 증가하면서 순수한 Si 반도체에서 나오는 Si 2p 내각준위에서 나오는 강도에 비해서 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상에서 나오는 Si 2p 내각준위의 강도가 점점 커지게 된다. 이 결과는 그림

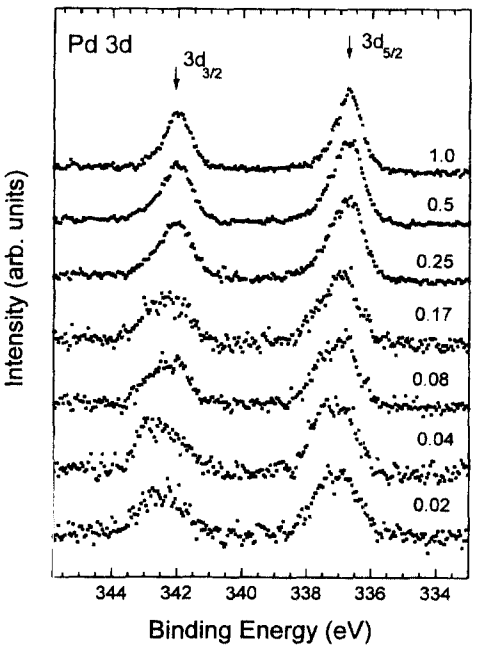

그림 4. Pd 금속을 Si 표면에 1 Å보다 작은 양을 증착한 경우의 Pd 3d 내각준위의 분광들. 336.7 eV 근처에 있는 봉오리는 Pd $3d_{5/2}$에 관련된 것이고, 342.0 eV 근처에 있는 봉오리는 Pd $3d_{3/2}$에서 나오는 분광들이다. 각 분광들 옆에 쓰여진 숫자들은 Pd의 두께를 나타낸다.

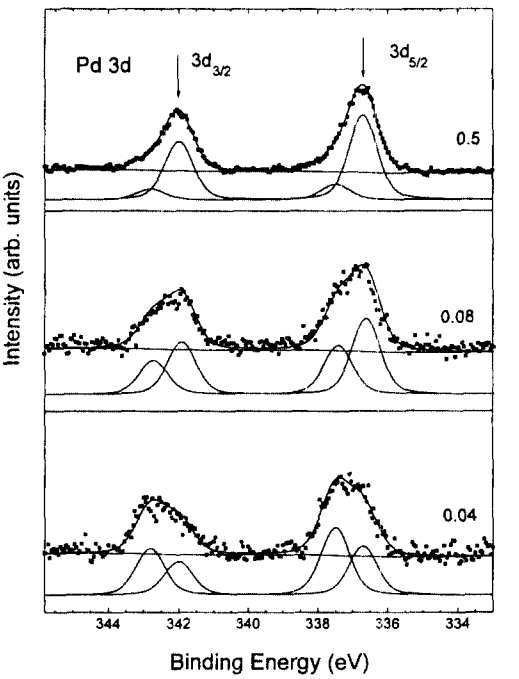

그림 5. Pd 금속을 Si 표면에 0.5 Å(위쪽), 0.08 Å(가운데), 및 0.04 Å(아래쪽) 정도로 증착한 경우에 광전자분광법 실험으로 얻은 Pd 3d 내각준위의 분광을 분석한 결과들. 각 분광들 옆에 쓰여진 숫자들은 Pd의 두께를 나타낸다. 점선은 실험자료들이고, 실선은 곡선맞추기 방법으로 분석해서 얻어진 결과이다. 336.7 eV 근처에 있는 봉오리는 Pd $3d_{5/2}$에 관련된 것이고, 342.0 eV 근처에 있는 봉오리는 Pd $3d_{3/2}$에서 나오는 분광들이다. 336.7 eV과 342.0 eV에 있는 스핀-궤도 분리에 의한 것은 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상에서 나오는 분광들이고, 337.5 eV과 342.8 eV에 있는 다른 스핀-궤도 분리에 의한 분광들은 Si 양이 많은 Pd-실리사이드인 PdSi 상에서 나오는 것이다.

1에서 설명한 Pd 3d 내각준위의 스펙트럼에서 보이는 현상과 일치한다. 그림 3은 Pd 금속이 Si 표면에 1 Å보다 적은 양이 증착되었을 때 Si 2p 내각준위 스펙트럼들이다. 그림 3의 모든 스펙트럼들은 광전자분광법에 의해서 얻어진 실험자료를 최고값으로 틀맞춤을 해서 보여준 것들이다. 그림 2에서 설명했듯이 Pd 금속이 Si 표면에 증착되므로 해서 변화하는 것은 발견할 수 없다. 그러므로 광전자분광법 실험에서 얻은 Si 2p 내각준위 스펙트럼은 순수한 Si 반도체에서 나오는 것이다.

그림 4는 Pd 금속이 Si 표면에 1 Å보다 적은 양이 증착되었을 때의 Pd 3d 내각준위 스펙트럼들이다. 그림 4의 모든 스펙트럼들은 광전자분광법에 의해서 얻어진 실험자료를 최고값으로 틀맞춤을 해서 보여준 것들이다. 그림 1인 경우와 같이 1 Å 정도의 Pd 금속을 Si 표면에 증착한 경우에 얻은 실험자료의 Pd 3d 내각준위의 결합에너지는 336.7 eV이다. 이 결과는 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상에서 나오는 Pd 3d 내각준위 스펙트럼에 해당된다. 이 Pd 3d 내각준위 스펙트럼에서 주요봉오리보다 대략 5.3 eV보다 큰 결합에너지 영역에 존재하는 위성봉오리는 스핀-궤도 분리에 의한 Pd $3d_{3/2}$ 봉오리에 해당된다. 그러나 Si 표면에 증착되는 Pd 금속의 양이 감소하면서 Pd 3d 내각준위 스펙트럼의 반높이에서 반너비(half width at half maximum; HWHM)가 넓어지는 것을 알 수 있다. 이와 같은 결과를 확인하기 위해서 Pd 3d 내각준위의 스펙트럼을 곡선맞추기(curve fitting) 방법을 사용해서 분석했다. 실험자료를 곡선맞추기 방법으로 분석해서 얻은 결과가 그림 5이다. Pd 3d 내각준위의 스펙트럼인 실험자료를 분석하기 위해서는 대략 0.5 Å 정도로 Pd 금속을 Si 표면에 증착한 경우인 그림 5의 위쪽의 실험자료를 스핀-궤도 분리에 의한 두 개의 봉오리로서 곡선맞추기를 시도하였다. 이때 Pd 3d 내각준위의 스핀-궤도 분리에 의한 강도비는 0.67로 고정한다.

또한 0.5 Å보다 많은 양의 Pd 금속을 Si 표면에 증착한 경우에 형성되는 것은 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상이므로, Pd_2Si 화합물에서 알고 있는 Pd 3d 내각준위의 결합에너지인 336.7 eV는 고정한다. 실험자료를 스핀-궤도 분리에 의한 두 개의 봉오리로서 정확하게 곡선맞추기로서 분석되지 않는 경우에 새로운 스핀-궤도 분리에 의한 두 개의 봉오리를 도입한다. 이와같은 방법으로 분석해서 얻은 분석 결과가 그림 5의 위쪽 그림에서의 실선이다. 그림 5의 가운데 그림인 0.08 Å 정도의 Pd 금속을 Si 표면에 증착한 경우도 위쪽 그림인 Pd 3d 내각준위 스펙트럼의 분석과 같은 과정을 반복한다. 분석한 결과가 그림 5의 가운데 그림의 실선이다. 가운데 그림에서 보듯이 명백히 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상이외에 새로운 Pd-실리사이드 상이 존재하는 것을 알 수 있다. 새로운 Pd-실리사이드 상이 존재하는 것을 명백히 보이기 위해서, 매우 작은 양인 0.04 Å 정도의 Pd 금속을 Si 표면에 증착한 경우 Pd 3d 내각준위 스펙트럼이 그림 5의 아래쪽에 나타냈다. 광전자분광법 실험으로 얻은 실험자료를 곡선맞추기 방법으로 분석하는 과정은 위쪽 그림과 가운데 그림에서와 같다. 그림 5의 아래쪽 그림에서 Pd-실리사이드의 Pd_2Si 상의 Pd 3d 내각준위의 결합에너지가 336.7 eV에 존재하는 봉오리의 강도에 비해서 Pd-실리사이드에 의한 새로운 상의 Pd 3d 내각준위의 결합에너지가 337.5 eV에 존재하는 봉오리의 강도가 더 크다는 것을 알 수 있다. 그러나 대략 0.5 Å 정도의 Pd 금속을 Si 표면에 증착한 경우에 해당되는 그림 5의 위쪽의 분광에서는 Pd 3d 내각준위의 결합에너지가 336.7 eV에서 보이는 봉오리가 337.5eV에서 보이는 봉오리에 비해서 강도가 매우 크게 된다. 이 결과에 의하면 Si 표면에 증착되는 Pd 금속의 양의 작은 초기 조건에서는 안정된 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상보다는 Si 원자의 수가 많은 Pd-실리사이드가 형성된다고 생각된다. 그러므로 Pd 금속이 Si 표면에 증착되는 양이 매우 작은 경우에 새로 형성되는 Pd-실리사이드는 PdSi로 추측된다.

4. 결 론

Pd 금속을 9 Å보다 많은 양을 Si 표면에 증착한 경우에 형성되는 Pd-실리사이드는 순수한 Pd 금속이 쌓이기 전단계인 Pd 양이 많은 Pd_3Si 상이다. 또한, Si 표면에 Pd 금속을 1 Å보다 많은 양을 증착하면 형성되는 Pd-실리사이드는 Pd_2Si 상이다. 그러나, Si 2p 내각준위 스펙트럼에서는 대략 2 Å보다 작은 양의 Pd 금속을 Si 표면에 증착한 경우에는 Pd-실리사이드에 의한 Si 2p 내각준위 스펙트럼을 관찰하지 못한다. 이와같은 결과는 광전자분광법 실험에서 나오는 전자의 평균자유행로는 전자의 운동에너지에 의존한다는 것을 이용하면 설명이 가능한데, Si 2p 내각준위에 상응하는 전자의 운동에너지는 대략 1386 eV이므로 전자의 평균자유행로는 대략 20 Å 정도가 된다. 이 사실을 사용하면 Pd 금속이 Si 표면에 2 Å 정도가 증착한 경우에 Pd-실리사이드에 의한 Si 2p 내각준위의 강도는 순수한 Si에 의한 Si 2p 내각준위의 강도에 비해서 1%보다 작게 되어서 측정하기가 어렵다.

Si 표면에 Pd 금속을 1 Å보다 작은 양을 증착한 Pd 3d 내각준위 스펙트럼을 보면, 증착되는 Pd 금속이 작아지면서 Pd 3d 내각준위의 반높이에서 반너비의 크기가 넓어지는 것을 알 수 있다. 넓어지는 이유를 조사하기 위해서 곡선맞추기 방법으로 광전자분광법 실험으로 얻은 실험자료를 분석했다. 그 결과에 따르면 매우 작은 양의 Pd 금속을 Si 표면에 증착한 경우에는 많은 연구자들이 찾아낸 Pd-실리사이드인 Pd_2Si 상외에 새로운 Si 양이 많은 Pd-실리사이드인 PdSi 상이 존재하는 것을 추측할 수 있다.

감사의 글

이 연구는 한국과학재단 1996년도 목적기초연구(특정연구과제)비에 의해 지원되었음을 감사하게 생각한다.

참고문헌

1. S.M. Sze, *in Physics of Semiconductor Devices*, (John Wiley & Sons, New York, 1981) Chap. 7.
2. L.J. Brillson, Surf. Sci. Rep. **2**, 123 (1982).
3. A. Hirakui, Surf. Sci. Rep. **3**, 357 (1984).
4. K. Tanaka, T. Saito, K. Suzuki, and R. Hasegawa, Phys. Rev. B**32**, 6853 (1985).
5. M. Amiotti, G. Guizzetti, F. Marabelli, A. Piaggi, V.N. Antonov, Vl.N. Antonov, O. Jepsen, O.K. Andersen, A. Borghesi, F. Nava, V.N. Nemosbkalenko, R. Madar, and A. Rouault, Phys. Rev. B**45**, 13285 (1992).
6. J.G. Clabes, Surf. Sci. **145**, 87 (1984).
7. K. Akiyama, K. Takayanagi, and Y. Tanishiro, Surf. Sci. **205**, 177 (1988).
8. L. Casalis, C. Casati, R. Rosei, and M. Kisknova,

Surf. Sci. **331-333**, 381 (1995).
9. P.S. Ho, G.W. Rubloff, J.E. Lewis, V.L. Moruzzi, and A.R. Williams, Phys. Rev. B**22**, 4784 (1980).
10. G.W. Rubloff, P.S. Ho, J.F. Freeouf, and J.E. Lewis, Phys. Rev. B**23**, 4183 (1981).
11. P.J. Grunthaner, F.J. Grunthaner, A. Madhukar, and J.W. Mayer, J. Vac. Sci. Technol. **19**, 649 (1981).
12. P.J. Grunthaner, F.J. Grunthaner, and A. Madhukar, J. Vac. Sci. Technol. **20**, 680 (1982).
13. A. Franciosi and J.H. Weaver, Phys. Rev. B**27**, 3554 (1983).
14. O. Bisi, O. Jepsen, and O.K. Andersen, Phys. Rev. B**36**, 9439 (1987).
15. J.C. Fuggle, F.U. Hillebrecht, R. Zeller, Z. Zolnierek, P.A. Bennett, and Ch. Freiburg, Phys. Rev. B**27**, 2145 (1982).
16. K. Asami, J. Electr. Spectr. Related Phenom. **7**, 469 (1976).
17. V. Atzrodt, T. Wirth, and H. Lange, Phys. Status solidi A**62**, 531 (1980).
18. M.P. Seah and W.A. Dench, Surf. Interface Anal. **1**, 2 (1979).