

방사광 광전자 분광법을 이용한 Co-Pd 합금박막의 전자구조 연구

강정수 · 권세균* · 하양장* · 민병일* · 조용필** · 이상섭**

정인범*** · 구양모*** · 김건호**** · 김봉수*****

가톨릭대학교 물리학과, *포항공과대학교 물리학과, **계명대학교 화학과,

포항공과대학교 재료금속공학과, *경상대학교 물리학과, *****포항가속기연구소,

(1996년 10월 30일 받음, 1996년 12월 27일 최종수정본 받음)

방사광 광전자분광법을 이용하여 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금박막들 ($x = 0, 25, 40, 65$)의 가전자띠 스펙트럼들을 측정하고, Co 3d 전자와 Pd 4d 전자들에 의한 각각의 부분스펙트럼 무게분포 (partial spectral weight distribution : PSW)를 결정하였다. Co-Pd 합금박막에서의 Co 3d PSW는 수직자기이방성을 나타내는 영역에 해당하는 Co 함량 25% 이하에서 순수 Co 박막의 스펙트럼과 상당히 다른 구조를 보인 반면, Co 함량이 약 40% 이상이 되면 순수 Co 박막의 PES 스펙트럼과 거의 일치하였다. Co 함량이 25% 이하의 Co 3d PSW에서 관찰된 페르미준위 근처의 봉우리 구조와 결합에너지 2 eV 근처의 어깨구조는 혼성에 의한 Co 3d 전자구조의 변화를 반영한다. 따라서 Co 3d 전자와 Pd 4d 전자 간의 혼성상호작용이 수직자기이방성의 결정에 중요한 역할을 하는 것으로 추측되었다. Co-Pd 합금박막에서의 Pd 4d PSW는 순수 Pd 스펙트럼에 비하여 그 폭이 넓고, 주 봉우리의 결합에너지가 크며, 페르미준위에서의 스펙트럼의 세기가 작게 관찰되었다. 그리고 Pd 함량이 감소함에 따라 Pd 4d PSW의 반치폭이 증가하였는데, 이러한 결과는 Co-Pd 합금이 형성될 때의 무질서 효과 또는 Co 3d 전자와 Pd 4d 전자간의 혼성상호작용으로 인한 Pd 4d 전자구조의 변화를 반영하는 것으로 추측되었다.

I. 서 론

최근 전이금속으로 이루어진 자성박막들에서 반강자성 결합, 수직자기이방성 등 덩치 (bulk) 시료에서 보이지 않던 흥미있는 물리적 현상들이 관찰되어, 이들 자성 박막들의 기초 물성연구와 응용연구가 세계적으로 활발하게 수행되고 있다 [1-5]. 예를 들어 Co 함량이 20-30% 이하인 Co-Pd 또는 Co-Pt 합금박막과 [5] 단원자층 정도의 Co층과 약 3원자층 정도의 Pd층으로 구성된 Co/Pd 다층박막 또는 Co/Pt 다층박막들에서 수직자기이방성이 관찰된 바 있다 [4]. 그런데 Co 함량이 20-30%인 Co-Pd 합금박막에서의 Co 원소와 Pd 원소간의 상대적 함량비는 단원자층 정도의 Co층과 약 3원자층 정도의 Pd층으로 구성된 Co/Pd 다층박막에서의 두 원소간의 상대적 함량비와 거의 같다는 점은 매우 흥미있는 사실이다. 구성원소의 함량이나 각 단층의 두께 등의 어떤 특정한 구조변수의 범위에서 합금박막과 다층박막이 공통적인 물성을 나타낸다는 실험적 사실은 합금박막을 구성하는 원소들 간의 상호작용이 다층박막의 계면에서의 상호작용과 유사함을 시사한다고 볼 수 있겠다.

이러한 물리현상의 근원을 이해하기 위해서는 물질의 전자구조와 제반 물성간의 상관관계에 대한 이해가 필수적이다. 코발트 (cobalt : Co)와 팔라듐 (palladium : Pd)으로 이루어진 합금은 Co 함량이 약 80% 이하인 영역에서 완전한 고체용해도 (solid solubility)를 가지는데

[6], 이 때 합금의 구조는 Co 원자와 Pd 원자가 하나의 격자점에 존재할 확률이 같은 무질서한 (disordered) 면심 입방구조 (face centered structure : fcc)이다. Co-Pd 합금에서는 Co 3d 전자와 Pd 4d 전자들의 파동함수 (wave function)가 공간적으로 겹칠 뿐 아니라, 각 가전자들의 각운동량 투사 부분 상태밀도 (angular momentum projected local density of states : PLDOS)가 분포 에너지영역에서 서로 겹치므로 두 원소의 가전자들간에 강한 상호작용이 존재할 것이 예측된다. 이러한 강한 상호작용으로 인하여 합금상태에서의 가전자띠 구조는 순수 bulk 상태에서의 전자구조의 단순한 합과는 매우 다를 것이다. 그리고 이러한 전자구조의 변화가 bulk 상태의 물성과는 매우 다른 합금상태의 독특한 물성을 야기할 것으로 예측된다.

본 연구에서는 Co-Pd 합금박막의 전자구조가 각 구성원소의 덩치상태 전자구조에 비하여 어떻게 다르며, 따라서 이들 물질의 전자구조의 변화가 수직자기이방성 등의 물성에 어떠한 영향을 미치는가를 이해하기 위하여 광전자분광법을 이용하여 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금박막 ($x = 0, 25, 40, 65$)에 대한 전자구조 실험연구를 수행하였다. 광전자분광법은 고체의 전자구조에 대한 직접적인 정보를 제공할 수 있는 매우 중요한 실험방법으로, 몇몇 합금금속에 대해서도 광전자분광법을 이용한 전자구조 연구가 보고된 바 있다 [7-11]. Pd 4d 전자들의 광이온화 단면적에서의 Cooper 최소현상 [12]을 이용하여 이들 합금박막에서

의 Co 3d 전자들의 부분 스펙트럼 무게분포 (partial spectral weight distribution : PSW)와 Pd 4d PSW를 실험적으로 결정하였다. 이 결과들을 순수 Co 박막과 순수 Pd 박막에서의 Co 3d 및 Pd 4d 전자들에 의한 PES 스펙트럼과 비교하였다.

본 논문의 순서는 다음과 같다. 제 2절에서 방사광 광전자분광 실험에 대한 조건을 기술하였다. 제 3절에서는 광에너지 (photon energy : $h\nu$) 변화에 따른 Co-Pd 합금박막의 가전자띠 스펙트럼들 (valence band PES spectra) 과 이 실험결과로부터 결정한 Co 3d 전자들과 Pd 4d 전자들에 의한 각각의 PSW를 나타내었다. 그리고 이 결과들을 순수 Co 박막에서의 Co 3d PES 및 순수 Pd 박막에서의 Pd 4d PES와 각각 비교, 고찰하였다. 마지막으로 제 4절에서 본 연구의 결론을 요약하였다.

II. 실험 조건

본 실험에 사용된 시료들은 고진공증착기에서 전자다발 증착원 또는 저항가열 증착원을 사용하여 제조한 25% Co-75% Pd 합금박막 ($\text{Co}_{25}\text{Pd}_{75}$), 40% Co-60% Pd 합금박막 ($\text{Co}_{40}\text{Pd}_{60}$), 65% Co-35% Pd 합금박막 ($\text{Co}_{65}\text{Pd}_{35}$), 순수 Pd 박막, 순수 Co 박막들로, 박막의 두께는 각각 약 500 Å 정도였다. 합금박막시료의 함량비를 결정함에 있어서 우선 박막제조시 두대의 XTC (crystal thickness controller)를 사용하여 각 원소의 증착율을 실시간으로 (in situ) 측정하여 함량비를 대략적으로 결정한 후, 제조된 각각의 박막들에 대한 Co 2p와 Pd 3d 내각전자들의 XPS (X-ray photoelectron spectroscopy) 세기비 (intensity ratio)를 측정하여 함량비를 보정하였다. 명목상 함량 (nominal concentration)과 실제 함량간의 오차는 약 $\pm 5\%$ 정도로 추측된다.

광전자 분광 (photoemission spectroscopy : PES) 실험은 PLS의 2B1 진공자외선 빔라인에서 수행하였다. 실험중의 진공도는 약 3×10^{-10} Torr 정도였다. 시료의 분석표면은 1×10^{-6} Torr 정도의 Ne 기체분위기에서 약 2 kV의 Ne ion으로 sputtering하여 얻었다. 측정에 이용한 $h\nu$ 영역은 50 eV-150 eV 였으며, 측정된 PES 스펙트럼들의 분해능은 약 0.4~0.6 eV에 해당한다. 실험 결과들의 규격화 (normalization)를 위하여 빔라인과 실험 chamber의 사이에 Ni 그물 (mesh)을 두고 그물전류를 측정하였다. 본 논문에 보고된 모든 실험 결과들은 입사광의 세기 (photon flux)에 대하여 규격화된 결과이다. Co-Pd 합금박막시료들과 전기적으로 연결된 금판 (gold sheet)을 sputtering 하여 측정함으로써 각 실험결과들

의 페르미준위 (E_F)를 결정하였다.

III. 결과 및 논의

Fig. 1은 $\text{Co}_{65}\text{Pd}_{35}$ 합금박막 시료에서 $h\nu$ 의 변화에 따른 가전자띠 스펙트럼들을 보여준다. $h\nu$ 가 증가함에 따라 가전자띠 스펙트럼의 세기가 전체적으로 감소하는데, 이는 $h\nu$ 가 증가함에 따라 Co 3d 전자들과 Pd 4d 전자들의 광이온화 단면적이 감소하기 때문이다 [13]. 또한 $h\nu$ 가 증가함에 따라 E_F 에서 약 -5eV 근처까지 넓게 분포되어 있는 스펙트럼의 무게중심이 E_F 가까이로 이동하고 스펙트럼의 모양 (line shape)이 크게 변화하는 것을 볼 수 있다. 이는 $h\nu$ 가 증가함에 따라 Pd 4d 전자들에 대한 Co 3d 전자들의 상대적 광이온화 단면적이 증가하여, Co 3d 전자들에 의한 기여가 상대적으로 증가하기 때문이다. 특히 $h\nu \sim 130$ eV 근처는 Pd 4d 전자들의 광이온화 단면적의 Cooper 최소에 해당하므로 [12], 이 때의 스펙트럼에서 Co 3d 전자들의 방출에 의한 상대적 기여가 가장 크게 된다. 따라서 약 -5 eV 근처의 결합에너지 (binding energy : BE)에 분포하던 스펙트럼이 E_F 가까이로 이동하는 것은, $h\nu$ 가 증가함에 따라 스펙트럼에의 기여가 Pd 4d 전자들로부터 Co 3d 전자들로 바뀐 것을 의미한다. 한편 순수 Pd 박막에서의 Pd 4d 전자의 광이온화 단면적

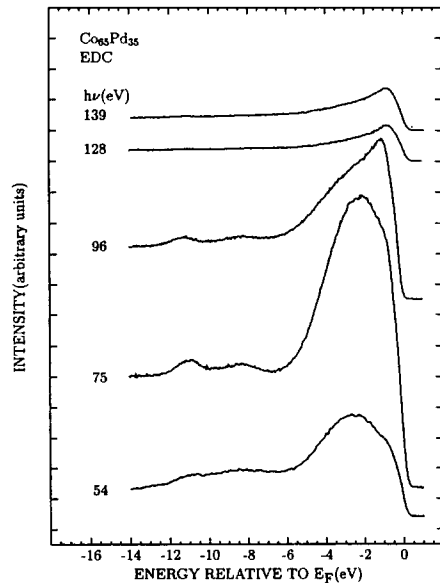


Fig. 1. Energy distribution curves (EDC's) for $\text{Co}_{65}\text{Pd}_{35}$ alloy films for various photon energies ($h\nu$'s).

의 $h\nu$ 의존성은 기존의 연구결과와 대체로 일치하였다 [14]. 또한 약 $-8 \sim -11$ eV 부근에 보이는 구조는 시료표면에 흡착된 소량의 C 또는 CO 등의 불순물에 의한 것으로 여겨지는데, 가전자띠 스펙트럼들의 주요한 특징들은 이 구조의 존재와는 무관하였다.

Fig. 2에서는 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금박막에서 추출된 Co 3d PSW를 합금농도의 변화에 따라 비교하였으며, 참고로 순수 Co PES 스펙트럼을 함께 비교하였다. 앞에서 설명한 바와 같이 $h\nu \sim 130$ eV 근처에서는 Co 3d 전자들의 광이온화 단면적에 비하여 Pd 4d 전자들에 의한 기여를 거의 무시할 수 있으므로, $h\nu \sim 130$ eV에서 측정된 PES 스펙트럼들을 Co 3d PSW로 간주하였다. 이 그림에서는 전자들의 비탄성산란(inelastic electron scattering)에 의한 배경(backgrounds)과 $-8 \sim -11$ eV 부근의 CO 등의 불순물에 의한 기여를 제거하였다. 이 그림에서 흥미있는 사실은 $\text{Co}_{25}\text{Pd}_{75}$ 합금박막에서 볼 수 있는 E_F 근처(BE : 약 0.5 eV)의 폭이 좁은 피크와 약 2 eV BE 근처의 어깨(shoulder) 구조이다. E_F 근처의 피크의 위치는 bulk Co 박막이나 Co 함량이 40% 이상인 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금박막에서의 피크위치에 비하여 매우 E_F 에 가까이 위치하고 있으며, 이 구조는 Co원자들과 Pd원자들간의 계면에서 일어나는 Co 3d 전자들과 Pd 4d 전자들 간의 혼성상호작용(hybridization interaction)으로 인하여 생겨난 새로운 전자상태에 의한 것으로 추측된다. 이러한 해석은 2 eV BE 근처의 어깨구조의 존재에 의하여도 뒷받침되는데, 그 이유는 어깨구조의 위치나 폭이 Pd 4d PSW의 위치나 폭과 비슷하여(Fig. 3(b) 참조) Co 3d 전자와 Pd 4d 전자간의 hybridization의 영향을 반영함을 알 수 있기 때문이다. 이와는 대조적으로 $\text{Co}_{40}\text{Pd}_{60}$ 와 $\text{Co}_{65}\text{Pd}_{35}$ 합금박막의 Co 3d PSW들은 순수 Co 박막의 PES 스펙트럼과 매우 유사하며, 단지 스펙트럼의 폭이 다소 넓음을 알 수 있다. 이러한 결과는 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금박막에서의 Co 3d 전자구조가 Co 함량이 40% 이상에서 순수 Co 박막에서의 Co 3d 전자구조와 거의 같음을 나타낸다.

Fig. 3(a)에서는 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금박막의 $h\nu = 70$ eV 가전자띠 PES 스펙트럼들을 비교하였다($x = 0, 25, 40, 65$). 여기서도 비탄성산란된 전자들에 의한 배경과 CO 등의 불순물에 의한 기여를 제거하였다. 이 그림에서 Pd 함량이 감소함에 따라 가전자띠 스펙트럼의 반치폭(full width at half maximum : FWHM)이 증가하는 것을 볼 수 있다. 원자상태의 각 케도전자들의 광이온화 단면적의 계산결과에 의하면[13], x 가 25~65% 범위의 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금박막의 $h\nu = 70$ eV 가전자띠 PES 스

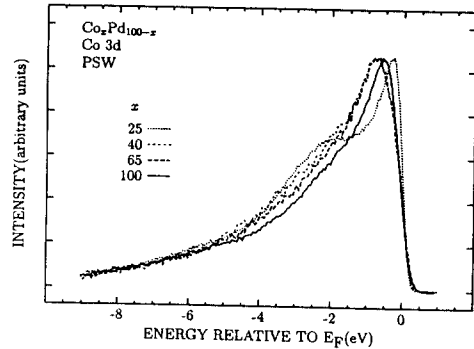


Fig. 2. Comparison of the Co 3d PSW's for $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ alloy films ($x = 0, 25, 40, 65$) and Co film, corrected as described in the text.

펙트럼에서 Co 3d 전자들에 의한 기여가 약 15~20%로 추정되므로[15], Pd 4d 전자들은 물론 Co 3d 전자에 의한 기여를 무시할 수 없음을 알 수 있다. Fig. 3(b)에서는 순수 Pd PES 스펙트럼과 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금박막에서의 Pd 4d PSW를 합금농도 변화에 따라 비교하였다. 여기서 Pd 4d PSW는 Fig. 2에서 결정한 Co 3d PSW와 원자상태 케도전자들의 광이온화 단면적을 이용하여 Fig. 3(a)의 $h\nu = 70$ eV 가전자띠 PES 스펙트럼으로부터 Co 3d 전자들에 의한 기여를 제거하여 얻었다. 이 그림에서 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금박막의 Pd 4d PSW는 순수 Pd 박막의 PES 스펙트럼에 비하여 그 반치폭이 넓고, E_F 에서의 스펙트럼의 세기가 작음을 알 수 있다. 그리고 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금박막에서 Pd 함량이 감소함에 따라 Pd 4d PSW의 반치폭이 증가함을 알 수 있다.

아래에 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금에서 Pd 원소의 함량이 감소함에 따라 Pd 4d PSW의 폭이 넓어지는 현상의 원인들을 고찰해 보았다. 첫째 원인으로 Pd 원자들의 위치가 무질서해짐(disordered)으로 인한 효과를 들 수 있겠다. 이는 무질서 정도가 증가함에 따라 전자간 산란효과가 커져서 스펙트럼 함수의 폭이 증가하기 때문이다[16]. 그러나 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금의 Co 3d PSW에서(Fig. 2 참조) Co 원소의 농도가 감소할 때 무질서에 의한 폭넓어짐 현상이 관찰되지 않은 사실은 $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ 합금박막에서 Pd 4d PSW의 폭넓어짐이 합금형성에 따른 무질서 효과만으로 설명될 수 없음을 시사한다. 두번째 원인으로 Co-Pd 합금에서 Co 3d 전자와의 강한 혼성상호작용으로 인하여 Pd 4d 전자구조에 변화가 일어나는 효과를 고려할 수 있는데, 이러한 해석은 $x = 25$ % 합금의 Co 3d PSW에 대한 해석과 일관성이 있다(Fig. 2). 후자의 가

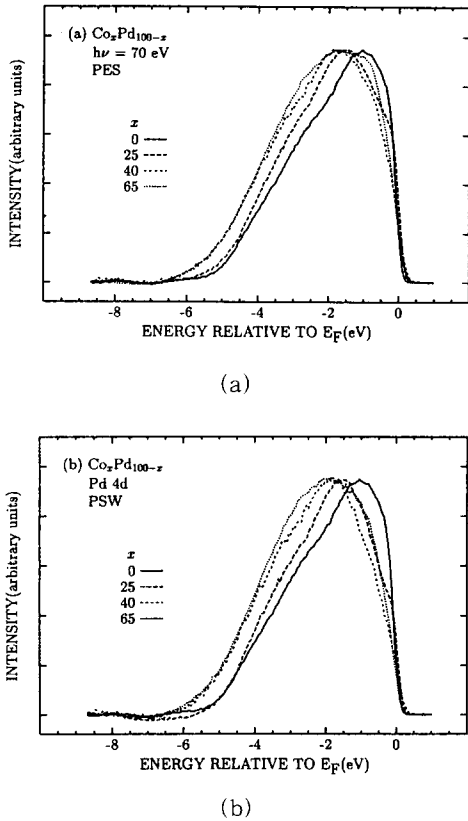


Fig. 3. (a) Valence band PES spectra for Co_xPd_{100-x} alloy films ($x = 0, 25, 40, 65$) and Pd film, taken at $h\nu = 70$ eV. (b) Comparison of the Pd 4d PSW's for Co_xPd_{100-x} alloy films ($x = 0, 25, 40, 65$) and Pd film.

능성으로 지적된 혼성에 의한 전자구조 변화는 Co 원자와 인접한 Pd 원자들이 유도자기모멘트를 갖게 되는 현상[17, 18]과도 관련이 있을 것으로 추측된다. 세번째 원인으로 Co_xPd_{100-x} 합금의 형성에 따른 가전자들의 이동을 고려할 수 있겠다. 그러나 Pd 4d PSW의 폭넓어짐 현상을 단순한 rigid band filling model로는 설명할 수 없는데, 그 이유는 Co 원자당 3d 전자의 평균갯수 n_{3d} 가 Pd 원자당 4d 전자의 평균갯수 n_{4d} 보다 적기 때문이다 ($n_{3d} \sim 7.3 < n_{4d} \sim 8.5$)[15].

Co_xPd_{100-x} 합금박막의 Co 3d PSW는 Co 함량이 $x = 25\%$ 에서는 순수 Co 박막의 PES 스펙트럼과 상당히 다른 양상을 보이는 반면, $x > 40\%$ 의 영역에서는 덩치 Co 박막의 PES 스펙트럼과 거의 일치하는 것으로 관찰되었다. 또한 $x = 25\%$ 의 합금박막에서 무질서에 의한 폭넓어짐 현상은 관찰되지 않았다. 앞서서도 지적한 바와

같이 합금원소의 함량 변화에 따른 Co 3d PSW의 이러한 변화(Fig. 2)는 Pd 4d PSW의 변화(Fig. 3(b))와는 매우 다르다. Co 원소의 함량이 약 25% 전후에서 관찰된 실험적 전자구조의 급격한 변화는 Co_xPd_{100-x} 합금박막의 기이한 자성 - 즉 Co 함량이 20-30% 이하에서는 수직자기 이방성이 관찰되지만, Co 함량이 증가하면 수직자기이방성이 사라지는 현상 - 과 밀접한 상관 관계를 가지고 있다고 추측된다. 즉 Co 함량이 적은 Co-Pd 합금박막에서 페르미준위 근처의 Co 3d 전자들이 수직자기 이방성에 중요한 역할을 하는 것으로 추측되는데, 그 상관관계를 밝히기 위해서는 체계적인 함량변화에 따른 Co-Pd 합금박막에 대한 고분해능 PES연구가 필요할 것이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 방사광 광전자분광법을 이용하여 Co_xPd_{100-x} 합금박막들의 가전자대 스펙트럼들을 측정하였으며($x = 0, 25, 40, 65$), $h\nu$ 의 변화에 따른 Pd 4d 전자의 광이온화 단면적의 변화를 이용하여 Co 3d PSW와 Pd 4d PSW를 결정하였다. Co_xPd_{100-x} 합금박막에서 추출된 Co 3d PSW는 수직자기이방성을 나타내는 합금농도 영역에 해당하는 $x < 25\%$ 에서 E_F 근처의 폭이 좁은 피크와 2 eV BE 근처의 어깨구조 등 Co 3d 전자상태와 Pd 4d 전자상태사이의 강한 혼성을 반영하는 구조가 관찰되었다. 한편 Co 함량이 증가하여 $x > 40\%$ 에서는 Co_xPd_{100-x} 합금박막의 Co 3d PSW가 순수 Co 박막의 PES 스펙트럼과 거의 일치하였다. 이러한 결과로부터 Co 함량이 25% 이하인 Co-Pd 합금박막에서 Co 3d 전자와 Pd 4d 전자사이의 혼성에 의한 전자구조 변화가 수직자기이방성에 중요한 역할을 하는 것으로 추측된다. Co_xPd_{100-x} 합금박막에서의 Pd 4d PSW는 순수 Pd PES 스펙트럼에 비하여 그 폭이 넓고, 주 봉우리의 결합에너지가 크며, E_F 에서의 스펙트럼의 세기가 작게 관찰되었다. 그리고 Pd 함량이 감소함에 따라 순수 Pd의 스펙트럼에 비하여 Pd 4d PSW의 반치폭이 증가하였다. 이러한 현상의 원인으로 Co-Pd 합금이 형성될 때의 무질서 효과 또는 Co 3d 전자와 Pd 4d 전자간의 혼성상호작용으로 인한 Pd 4d 전자구조의 변화 등을 들 수 있다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단과 과학재단, 그리고 1996학년도 가톨릭대학교 교비연구비의 지원에 의해 수행된 것임

니다. 포항방사광가속기에서의 실험은 과학기술처와 포항제철의 지원을 받았습니다.

참고문헌

- [1] T. Shinjo, Surf. Sci. Rep. **12**, 49 (1991).
- [2] M. N. Bablich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, Phys. Rev. Lett. **61**, 2472 (1988).
- [3] S. S. Parkin, N. More, and K. P. Roche, Phys. Rev. Lett. **64**, 2304 (1991).
- [4] W. B. Zeper, F. J. A. M. Greidanus, P. F. Carcia, and C. R. Fincher, J. Appl. Phys. **65**, 4971 (1989).
- [5] D. Weller, H. Brandle, and C. Chappert, J. Magn. Magn. Mater. **121**, 461 (1993).
- [6] "Binary Alloy Phase Diagrams", edited by J. L. Murray, L. H. Bennett, and H. Baker, (American Society for Metals, Metals Park, Ohio 1986).
- [7] N. Martensson, R. Nyholm, H. Calen, and J. Hedman, and B. Johansson, Phys. Rev. B **24**, 1275 (1981).
- [8] H. Winter, P. J. Durham, W. M. Temmerman, and G. M. Stocks, Phys. Rev. B **33**, 2370 (1986).
- [9] H. Wright, P. Weightman, P. T. Andrews, W. Folkerts, C. F. J. Flipse, G. A. Sawatzky, D. Norman, and H. Padmore, Phys. Rev. B **33**, 2370 (1986).
- [10] J. F. van Acker, P. W. J. Weijss, J. C. Fuggle, K. Horn, W. Wilke, H. Haak, H. Saalfeld, H. Kuhlenbeck, W. Braun, G. P. Williams, D. Wesner, M. Strongin, S. Krummacher, and K. H. J. Buschow, Phys. Rev. B **38**, 10463 (1988).
- [11] T. -U. Nahm, M. -S. Han, S. -J. Oh, J. -H. Park, J. W. Allen, and S. -M. Chung, Phys. Rev. Lett. **70**, 3663 (1993).
- [12] J. W. Cooper, Phys. Rev. **128**, 681 (1962).
- [13] J. J. Yeh and I. Lindau, Data Nucl. Data Tables **32**, 1 (1985).
- [14] I. Abbati, L. Braicovich, G. Rossi, I. Lindau, U. del Pennino, and S. Nannarone, Phys. Rev. Lett. **50**, 1799 (1983).
- [15] S. K. Kwon et al, unpublished data.
- [16] S. Doniach, "Green's Function for Solid State Physicists", (American Society for Metals, Metals Park, Ohio 1986).
- [17] G. J. Niewenhuys, Adv. Phys. **24**, 515 (1975).
- [18] C. Li, A. J. Freeman, H. J. F. Jansen, and C. L. Fu, Phys. Rev. B **42**, 5433 (1990).

Electronic Structures of Co-Pd Alloy Films Using Synchrotron Radiation Photoemission Spectroscopy

J. S. Kang, S. K. Kwon,* Y. J. Ha,* B. I. Min,*
Y. P. Cho,** C. S. Ri,** I. B. Chung,*** Y. M. Koo,***
K. H. Kim**** and B. S. Kim,*****

Department of Physics, The Catholic University of Korea, Puchon 422-743

**Department of Physics, POSTECH, Pohang 790-784,*

***Department of Chemistry, Keimyung University, DaeGu 704-701*

****Department of Materials Science and Engineering, POSTECH, Pohang 790-784*

*****Department of Physics, Gyeongsang National University, Chinju 660-701*

******Pohang Accelerator Laboratory, Pohang 790-784*

(Received 30 October 1996, in final form 27 December 1996)

Valence band photoemission spectroscopy (PES) measurements have been performed for $\text{Co}_x\text{Pd}_{100-x}$ alloy films using synchrotron radiation ($x = 0, 25, 40, 65$). Then the partial spectral weight distributions (PSW's) of Co 3d and Pd 4d electrons have been determined. The Co 3d PSW's exhibit some structures which are quite different from those of the Co film for $x < 25\%$, whereas they become very similar to those of the Co film for $x > 40\%$. For $x < 25\%$, the peak near the Fermi level (E_F) and a shoulder around 2 eV binding energy in the Co 3d PSW reflect large hybridization between Pd 4d and Co 3d electrons, suggesting that the hybridization might play an important role in determining perpendicular magnetic anisotropy. The Pd 4d PSW's in Co-Pd alloy films are found to have larger FWHM's (full widths at half maximum), larger binding energies of the main peaks, and larger spectral intensities at E_F than the PES spectrum of the Pd film. The FWHM of the Pd 4d PSW increases with decreasing Pd concentration, which are considered to reflect the disordering effect in the alloy formation or the change in the Pd 4d electronic structure due to hybridization between Co 3d and Pd 4d electrons.