

흑색 코발트 태양 선택흡수막의 광학적특성과 구조

이길동*

*경기대학교 전자물리학과 (gdlee@kyonggi.ac.kr)

Optical Properties and Structure of Black Cobalt Solar Selective Coatings

Lee, Kil-Dong*

*Dept. of Electrophysics, Kyonggi. University(gdlee@kyonggi.ac.kr)

Abstract

Black cobalt solar selective coatings were prepared by thermal oxidation of electroplated cobalt metal on copper and nickel substrates. The optical properties and structure of the black cobalt selective coating for solar energy utilizations were characterized by glow discharge spectrometry (GDS), ultraviolet-visible-near infrared (UV-VIS-NIR) spectrometer, atom force microscopy (AFM) and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS). The optical properties of optimum black cobalt selective coating prepared on copper substrate were a solar absorptance of 0.82 and a thermal emittance of 0.01. From the GDS depth profile analysis of these coatings, the concentration of cobalt particles near the interface was higher than at the surface, but oxygen concentration at the surface was higher than at the interface. These results suggest that the selective absorption was dominated by this chemical composition variation in the coating. The surface of this film exhibited morphology with root-mean-square (rms) roughness of about 144.3 nm. XPS measurements data showed that several phases of Co coexist (Co_3O_4 , CoO) in the film.

Keywords : 흑색코발트 태양선택흡수막 (Black cobalt solar selective coatings), 열산화 (Thermal oxidation), 광학적 특성 (Optical properties), 선택흡수 (Selective absorption).

1. 서 론

태양에너지이용 기술은 크게 나누어 태양열 집열기 (solar collector)와 태양전지 (solar cell)로 구분할 수 있는데 집열기의 성능은 핵심부품인 태양에너지를 열에너지로 변환시키는 태양

선택흡수막 (solar selective coating)을 사용하면 최적화 시킬 수 있다.¹⁾ 이 선택흡수막은 태양복사스펙트럼 (0.3-2.0 μm)영역에서는 높은 흡수율 (α)을 가지고 집열판(absorber plate)의 동작온도에 해당하는 열복사스펙트럼 (2.0-50 μm)영역에서는 열복사율(ϵ)이 적은 특성을

갖고 있다. 선택흡수막에 대한 연구는 Tabor²⁾가 이론적으로 그 가능성을 제시한 후 전기도금, 스프레이, 스프레이(spray) 등의 방법으로 그 성능과 내구성을 향상시키기 위해 AES (Auger electron spectroscopy), XPS (X-ray photoelectron spectroscopy), SIMS (secondary ion mass spectrometry) 등의 표면분석 장치를 사용하여 선택흡수막의 광물성에 대한 연구가 광범위하게 수행되어 왔다³⁻¹⁸⁾. 연구된 선택흡수막중에서 absorber-reflector metal tandem type인 black Cr(chrome) 및 black Co(cobalt) 선택흡수막은 약 300 - 400 °C까지 광학적 특성과 열적 안정성이 우수하여 현재까지 연구가 진행되고 있으며 또한 실용화된 물질이다.^{6-9, 11-13)}

특히 그중에서 black Co는 고온용 선택흡수막으로써의 가능성 때문에 현재까지 연구되고 있으나 제작방법, 기관종류 등이 온도상승에 따라 표면퇴화에 어떻게 영향을 주는지에 대해서는 잘 알려져 있지 않다. Smith 등³⁾은 black Co 선택흡수막을 제작하여 그 물성을 조사한 결과 Ni(nickel) 기관 위에 가열산화법으로 제작한 black Co는 400 °C 까지 기관물질의 확산이 없었다고 보고 하였다. Avila 등¹³⁾은 SS (stainless steel) 기관 위에 spray pyrolysis 방법으로 Co oxide 선택흡수막을 제작하여 그 조성을 분석하여 Co상은 주로 Co₃O₄가 지배적이었으며 그 외 CoO, Co₂O₃ 및 금속인 Co으로 구성된 것을 확인 하였다. 그리고 Ni이 도금된 SS 기관을 사용하여 제작한 SS/Ni/Co₃O₄ 선택흡수막의 광학적 특성은 $\alpha = 0.86$, $\epsilon = 0.43$ 을 얻었다고 보고 하였다.

최근에는 고온에서 표면 산화과정이 표면구조변화에 미치는 영향을 집중적으로 연구함으로써 고온 안정성을 높이려 하고 있다.^{3,7,15,16)} 그러나 아직까지 선택흡수막의 최적 제조공정, 전해액의 조성, 선택흡수기구는 명확하게 알려져 있지 않다.

본 연구에서는 Cu(copper), Ni, SS 기관 위

에 가열 산화법으로 black Co을 제작하여 온도와 도금시간에 따른 선택흡수막의 최적성능도출과 선택흡수규명을 위해 광학적 특성과 구조를 조사하였다.

2. 실험

2.1 실험조건

전기도금법으로 black Co를 제작할 때 사용하는 전해액은 cobalt sulphide, cobalt oxides-hydroxides, thermal cobalt oxides 등 여러가지 도금액³⁾이 있으나 본 실험에서 사용한 thermal cobalt oxides 도금액³⁾의 조성도와 도금조건은 표 1과 같다.

Table 1. Bath composition and deposition conditions for black cobalt plating.

CuSO ₄ 7H ₂ O :	~ 450 g/l
Boric Acid :	~ 33 g/l
KCl :	~ 16 g/l
PH :	~ 3.56
Bath Temperature :	~ 20 °C
Current Density :	~ 300 A/m ²
Distance of Cathode-Anode :	~ 5 cm

2.2 시료제작

기관은 광학적 측정에 알맞게 Cu, Ni 및 SS 기관을 3 x 5 cm의 크기로 절단한 다음 1500-2000번의 사포로 연마하고 난 후 거울 같은 반사 표면을 얻기 위해 Buehler polishing paste 0.05 μ m Al₂O₃로 최종 마감 처리하여 거울 같은 반사 표면을 얻도록 하였다. 도금 전 처리는 아세톤을 사용하여 기관을 초음파 세척하고 묽은 NaOH로 전해 탈지한 후 10% H₂SO₄로 활성화 시켜서 black Co 도금을 하였다. 전기도금장치는 그림 1과 같이 제작하여 많은 예비시험을 한 결과 흡수율이 최대가 되고 동시에 복사율이 낮은 조건인 약 300 A/m² 에서 도금시간을 변화시키면서 제작하였다. 이 도금장치에는 보조 Cu 전극을 음극

에 설치하여 균일한 전류가 흐를 수 있도록 하였다.

그림 2에는 그림 1처럼 보조전극을 설치하면 균일한 전류밀도 분포가 형성되어 균일한 두께를 가진 선택흡수막을 제작할 수 있음을 보이고 있다. 전해액의 노화를 방지하기 위해 양극으로는 Sn이 5% 함유된 도금용 납판을 사용하고 음극에는 Cu 기판을 달았다. 이때 도금조건에 따라 흡수막의 광학적 특성, 표면조성

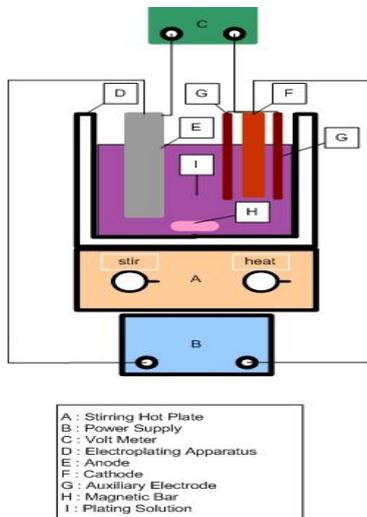


Fig. 1. Schematic diagram of the electroplating apparatus for the electrodeposition of black cobalt coatings.

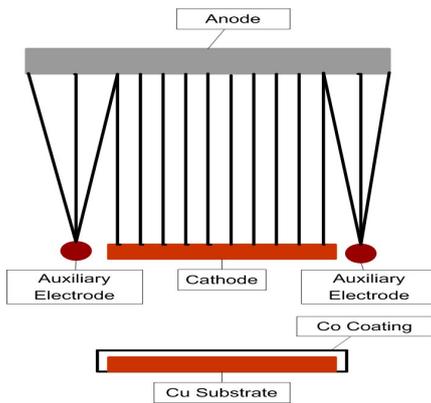


Fig. 2. Schematic diagram of the auxiliary electrode for uniform distribution of current density.

및 구조가 변하므로 도금시간을 2 - 9 분간 변화시켜 제작하였다. 음극과 양극 도금면적의 비는 약 1:2 로 하였다. 도금시 균일한 도금액이 되도록 계속 교반시켜야 하고 전해액의 상승은 입자의 성장속도를 증가시켜 도금막이 거칠게 될 경향이 크므로 온도상승을 막기 위해 전해액을 냉각 시킬 필요가 있다. 한편 전해액을 장기간 보관하면 퇴화되어 높은 흡수율을 얻을 수 없으므로 반드시 새로운 액을 만들어 사용해야 된다. 금속 Co 도금이 끝난 시료는 증류수로 세척하여 공기중에서 건조기로 건조시킨 후 가열 산화법으로 전기로에 넣어 공기중 300 °C, 350 °C 및 450 °C에서 각각 3시간 가열 산화시켜 black Co 태양 선택흡수막을 제작하였다. 제작된 각 시료 중에서 흡수율이 높은 최적화된 시료는 공기중 350 °C에서 18시간 동안 다시 가열하여 열적 안정성을 조사하였다.

2.3 측정

시료의 흡수율은 UV-VIS-NIR 분광기 (Ultraviolet-Visible-Near Infrared spectrometer, Varian Carry 5000)를 이용하여 적분구 (Diffuse Reflectance Accessar, DRA-2500)를 부착하여 파장 0.2 - 2.5 μm 영역에서 반사율을 측정하고, air mass 2 스펙트럼과 Duffie¹⁹⁾의 방법을 이용하여 계산하였다. 열복사율은 실온에서 FTIR (Fouier Transform Infrared Spectroscopy) 적외선 분광기 (Bruk, IFS 66/S)를 사용하여 파장범위 2.5 - 25 μm 영역에서 적외선 반사율을 측정하고 100 °C 흑체복사에 대해 결정하였다. 일반적으로 표시되는 선택흡수막의 광학적 특성 성능인자는 태양흡수율 α 와 열복사율 ϵ 이다. 어떤 온도 T로 열적 평형된 불투명 흡수막의 파장 λ 에 대한 태양광의 전 방향 반사율을 R (λ)라 표시하면 흡수율 및 열복사율은 $\alpha (\lambda) = \epsilon (\lambda) = 1 - R (\lambda)$ 의 관계가 있다. 따라서 흡수막의 반사율 R (λ)을 측정함으로써 흡수율과 복사율을 결정할 수 있다.

Black Co 선택흡수막의 정량적인 조성분석은 GDS (Glow Discharge Spectrometry, Jobin Yvon, Jy 10000 RF) 실험을 실시하여 조사하였다. Co 흡수층의 표면구조, 입자높이 및 표면 거칠기 (roughness)는 AFM (Atomic Force Microscopy, Auto-Prove CP, Park Scientific Instruments)를 사용하여 평가하였다. AFM 스캔면적은 $50 \times 50 \mu\text{m}^2$ 이었으며 256×256 화소의 분해능을 갖고 있었다. 선택흡수막의 조성과 화학 결합상태는 XPS (X-ray photoelectron spectroscopy, VG Microtech, MultiLab ESCA 2000) 장치를 이용하여 시료표면에 X-ray beam (Al target $E_{k\alpha} = 1486.6 \text{ eV}$)을 입사시켜 core level에서 방출하는 전자의 결합에너지를 분석하여 결정하였다.

3. 실험결과 및 논의

3.1 광학적 특성

선택흡수막의 흡수율과 복사율은 전해액 조성, 도금 전류밀도, 도금시간, 도금온도, 전극 사이의 거리, 전극물질 등의 여러가지 도금조건에 따라 영향을 받는다.¹⁾ 본 실험에서는 표 1과 같은 조건하에서 도금시간과 전기로의 온도를 변화시키면서 black Co 태양 선택흡수막을 제작하여 최적조건을 결정하였다.

표 2는 Cu 기판위에 도금조건을 변화시키면서 제작한 black Co 선택흡수막 시료중에서 선택흡수성이 우수한 시료의 반사율을 측정하여 계산한 흡수율과 복사율이다.

표 2에서 알 수 있듯이 도금시간 9분, 가열 산화온도 350°C 에서 Cu 기판 위에 제작된 시료 Cu-Co-350-9가 $\alpha = 0.82$, $\epsilon = 0.01$ 을 나타내어 좋은 선택 흡수성을 보이고 있다. 그러나 도금시간 9분, 가열 산화온도 300°C 에서 Cu 기판 위에 제작된 시료 Cu-Co-300-9는 흡수율과 복사율이 각각 $\alpha = 0.58$, $\epsilon = 0.01$ 가 되어 선택흡수성이 가장 낮게 측정되었다. 한편 도금시간을 9분으로 하고 가열 산화온

도를 300°C , 450°C 로 변화시키면서 제작한 시료의 흡수율은 변화가 심해 좋은 선택흡수성을 얻을 수 없었다.

그림 3은 Cu 기판 위에 전류밀도 300 A/m^2 에서 9분간 Co 도금을 한 후 350°C 공기중에서 3시간 동안 가열 산화시켜 제작한 black Co 선택흡수막 Cu-Co-350-9 시료의 전형적인 반사율 변화를 파장 $0.2 - 25 \mu\text{m}$ 영역에서 나타낸 것이다.

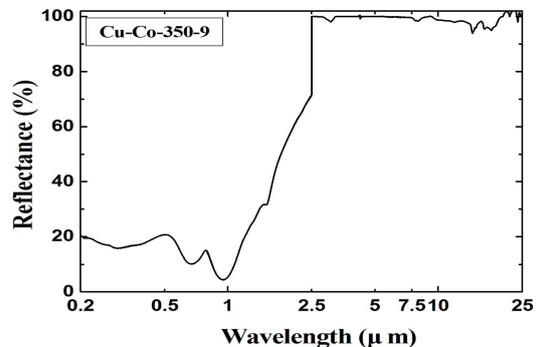


Fig. 3. Spectral reflectance of the black cobalt solar selective coating prepared on copper substrate.

이 반사율로부터 $\alpha = 0.82$, $\epsilon = 0.01$ 이 계산되었다. 전이영역은 대략 $1 \mu\text{m}$ 근처에서 가파르게 일어나 복사율이 낮게 계산되었음을 알 수 있다. 가시광선-근적외선 영역에서 반사율이 낮게 측정된 것으로 미루어보아 black Co 선택흡수막은 black Cr과 마찬가지로 intrinsic absorber로 간주할 수 있다.^{3,12)}

Black Cr은 Cr 금속입자에 의한 공명흡수의 성질도 일부 가지고 있으나 black Co는 주로 띠 간격이 1eV 이하인 CoO의 반도체 성질이 우수한 선택흡수성을 갖는 원인이 되고 있다.¹²⁾ 전이영역은 박막의 두께와 구조, 기판 물질의 반사율 등에 의존하는 것으로 알려져 있으며 전이가 일어난 후의 적외선 반사율은 일반적으로 Co 표면보다는 주로 기판물질에 의한 영향을 많이 받는 것으로 알려져 있다. 가시광선 영역 근처에서 반사율 곡선의 bump가

Table 2. Plating conditions and typical result of optical measurements for the black cobalt.

Oxidation Temp.	Sample No.	Plating Time (min)	Absorptance (α)	Emittance (ϵ)
300 °C	Cu-Co-300-2	2	0.53	0.01
	Cu-Co-300-4	4	0.57	0.01
	Cu-Co-300-9	9	0.58	0.01
350 °C	Cu-Co-350-2	2	0.79	0.01
	Cu-Co-350-4	4	0.80	0.01
	Cu-Co-350-9	9	0.82	0.01
450 °C	Cu-Co-450-2	2	0.74	0.08
	Cu-Co-450-4	4	0.69	0.01
	Cu-Co-450-9	9	0.75	0.01

나타나 반사율이 약간 높게 측정되어 흡수율이 낮게 측정되었다. 이것은 Co 박막의 광간섭 때문이다. 이 간섭현상은 정현함수파의 형태로 특성화되며 이 정현함수의 커브 위치는 주로 막 두께와 관련된다. Black Co 선택흡수막 Cu-Co-350-9 시료를 다른 연구자들이 제작한 black Cr 및 black Co 선택흡수막과 비교 하였다. Zajac 등²⁰⁾이 제작한 black Cr은 $\alpha = 0.96$ 이었으나 300 °C 이상의 온도에서 가열 산화시켰을 때 $\alpha = 0.89$ 로 감소하였다. 그리고 Smith 등³⁾이 공기중 400 °C에서 25 시간 가열 산화 시켜 제작한 black Co 선택흡수막은 $\alpha = 0.87$ 이었으며 Avila 등¹³⁾은 SS 기판위에 spray pyrolysis 방법으로 black Co oxide 선택흡수막을 제작하여 550 °C에서 5 시간 동안 열처리 한 후 $\alpha = 0.82$, $\epsilon = 0.68$ 을 얻었다. 본 실험에서 제작한 black Co 시료 Cu-Co-350-9는 $\alpha = 0.82$, $\epsilon = 0.01$ 였다. 따라서 가열 산화 전의 black Cr²⁰⁾보다는 흡수율이 떨어지나 다른 연구자^{3,13)}의 black Co와는 비슷한 흡수율을 보이고 있다.

한편 Cu-Co-350-9와 Ni-Co-350-9 (Ni 기판 위에 도금시간 9분간 Co 도금한 후 350 °C에서 3시간 가열 산화시켜 제작한 선택흡수막 시료)의 Co 선택흡수막 시료는 18시간 동

안 다시 가열 산화시켜도 선택흡수성의 변화는 없었다. 즉 광퇴화 $\Delta\alpha = 0$ 임을 확인할 수 있었다. 이 결과는 이 시료의 열적 내구성이 우수함을 나타낸다

그림 4는 Cu기판 위에 도금시간을 변화시켜 350 °C에서 3시간 동안 가열 산화시켜 제작한 black Co 시료의 반사율 변화를 나타내었다. 각 도금시간에 따른 반사율 곡선은 0.2-1.0 μm 영역에서 크게 변하지 않았으나 Cu-Co-350-9의 시료는 1-2.5 μm 영역에서 제일 낮게 측정되어 흡수율이 증가하였다.

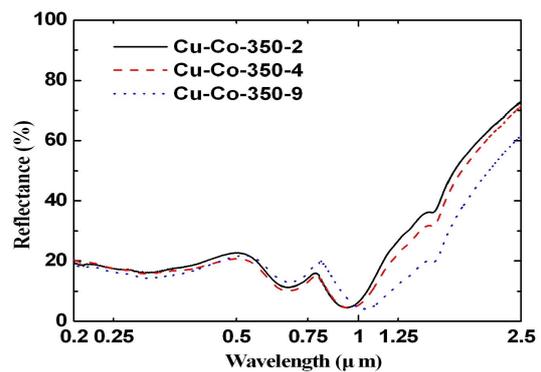


Fig. 4. Spectral reflectance of the black cobalt solar selective coating prepared on copper substrates with various plating time.

Table 3. Integrated absorptance and emittance for the black cobalt selective coating prepared on nickel substrates.

Oxidation Temp.	Sample No.	Plating time (min)	Absorptance (α)	Emittance (ϵ)
350 °C	Ni-Co-350-2	2	0.77	0.04
	Ni-Co-350-4	4	0.77	0.03
	Ni-Co-350-9	9	0.80	0.02

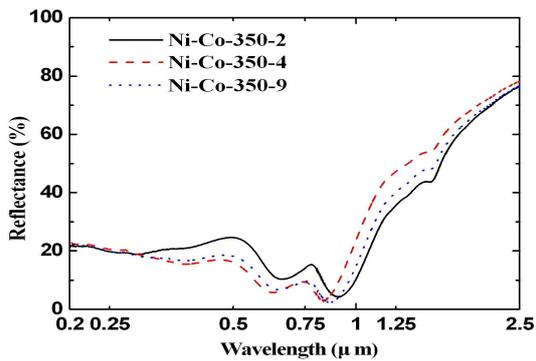


Fig. 5. Spectral reflectance of the black cobalt solar selective coating prepared on nickel substrates with various plating time.

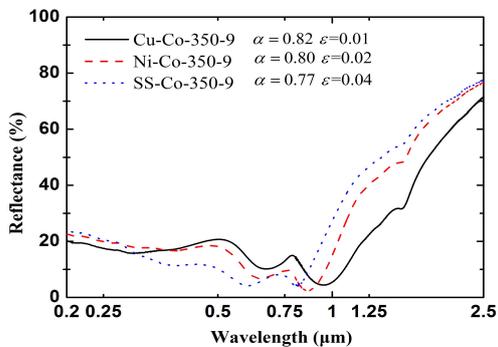


Fig. 6. Spectral reflectance of the black cobalt solar selective coating prepared on nickel, copper and stainless steel substrates.

그림 5는 Ni 기판 위에 도금시간 2분, 4분 및 9분에서 각각 Co층을 도금한 후 350 °C에서 3시간 동안 가열 산화시켜 제작한 black Co 선택흡수막 시료의 반사율 변화를 나타내었다. 그림 4와 유사한 반사율 변화를 나타내

고 있으나 시료 Ni-Co-350-2 의 반사율은 0.2 - 0.75 μm 에서는 가장 높게 측정되어 흡수율이 낮았다.

표 3은 그림 5의 반사율로부터 계산한 Co 시료의 흡수율과 복사율의 결과를 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 시료 Ni-Co-350-9의 $\alpha = 0.80$, $\epsilon = 0.02$ 는 표 2에서 시료 Cu-Co-350-9의 선택 흡수성과 유사하다. 이 결과는 기판 물질 Cu, Ni의 경우 최적조건에서 제작된 시료는 흡수율이 유사함을 나타낸다.

그림 6은 기판물질 Cu, Ni, 및 SS에 따라 전류밀도 300 A/m² 에서 9분간 Co 도금을 한 후 350 °C 공기중에서 3시간 동안 가열 산화시켜 제작한 black Co 선택흡수막의 반사율 변화를 나타낸 것이다. SS기판 위에 제작된 black Co 선택흡수막의 전이영역은 0.8 μm 근방에서 일어났으며 1 - 2.5 μm 영역에서는 가장 높게 측정되어 $\alpha = 0.77$ 로 가장 낮았다. Cu-Co-350-9의 시료는 1 μm 근방에서 전이가 일어나 흡수율이 약간 증가했음을 확인할 수 있다. 기판종류에 따라 흡수율과 열복사율이 영향을 약간 받음을 알 수 있다.

3.2 구조분석

그림 7은 전기도금으로 Cu 기판 위에 도금 시간 9분에서 제작한 Co 시료 [그림 7(a)]와 이 시료를 350 °C 에서 3시간 동안 가열 산화 처리 하여 제작한 black Co 선택흡수막 시료 Cu-Co-350-9 [그림 7 (b)]의 표면층을 XPS 분석한 스펙트럼을 비교해서 나타낸 것이다. 주 원소는 Co, O 이며 불순물 C가 약간 포함되어 있음을 볼 수 있다. 그림 7(b)에서는 O의

피크가 상당히 큰 것을 볼 수 있다. 이것은 전기도금에 의해 성장된 금속 Co 표면이 가열 산화에 의해 생성된 피크인 것을 추정할 수 있다. 즉 black Co 선택흡수막의 표면에는 CoO가 생성된 것으로 보여진다. 이 CoO가 선택 흡수성을 갖는 것으로 사료 된다.

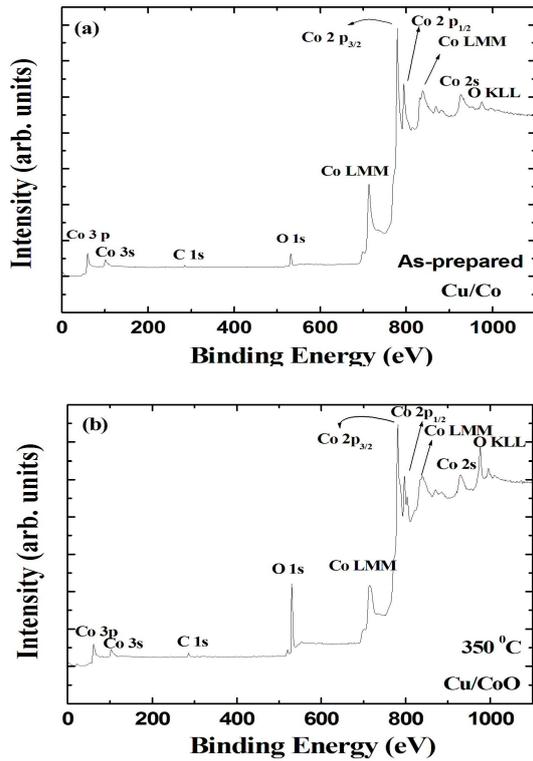


Fig. 7. XPS survey scan spectrum of the cobalt on a copper substrate: (a) As-prepared sample (Cu/Co) and (b) thermally oxidized sample at 350 °C (Cu/CoO).

그림 8은 한 예로써 그림 7(b)에서의 XPS Co 2p_{3/2} 스펙트럼 피크를 deconvolution하여 분석한 결과이다. 그림에서 수직선으로 짧게 표시한 것은 곡선의 피크값 위치를 나타낸 것이다. 결합에너지 779.45 eV(Co₃O₄), 780.70 eV 등에 대응되는 여러 종류의 phase가 확인되었다

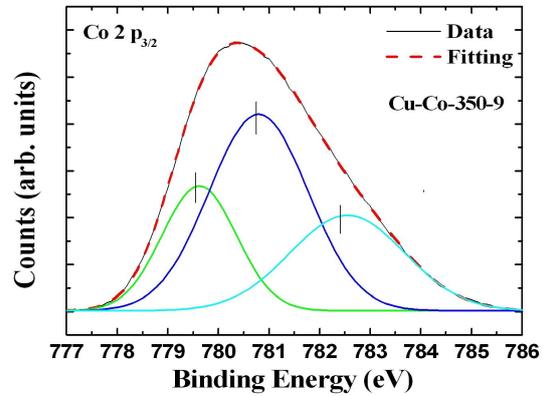


Fig. 8. Co 2p_{3/2} core level fitted with three Gaussian peaks of the as-prepared sample in Fig. 7(b)

Fitted curve는 실험치와 잘 일치함을 볼 수 있다. 한편 표면형상과 구조를 정량적으로 조사할 수 있는 방법은 AFM으로 표면거칠기를 정량적으로 분석함으로써 가능하다.

그림 9는 표 1에서 흡수율이 낮은 시료 Cu-Co-300-9 [그림 9(a)]와 흡수율이 높은 시료 Cu-Co-350-9 [그림 9(b)]의 표면구조, 입자높이 및 표면거칠기 (surface roughness)를 평가하기 위한 AFM image를 나타낸 것이다.

표면 거칠기의 가장 중요한 측정은 rms (root-mean-square roughness)이다. rms는 주어진 면적 이내에서 표면 높이의 표준편차로 정의되며 이 편차는 주어진 scan 동안 얻어진 모든 위치로 부터 얻어진다²¹⁾.

선택흡수성이 나쁜 black Co 선택흡수막 시료 Cu-Co-300-9 ($\alpha = 0.58$ $\epsilon = 0.01$)의 경우 rms는 101.4 nm, 낱알크기 (grain size)는 1.360 μm 이었다. 그러나 선택흡수성이 우수한 black Co 선택흡수막 시료 Cu-Co-350-9 ($\alpha = 0.82$ $\epsilon = 0.01$)의 경우는 rms는 144.3 nm 그리고 낱알크기 (grain size)는 1.375 μm 이었다. 따라서 시료 Cu-Co-350-9의 표면이 시료 Cu-Co-300-9 보다 더 거칠고 큰 굴곡이 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 효과가 입사하는 광을 표면이 흡수하여 흡수율이 증가된 것으로

로 사료 된다. 이것은 Lampert²²⁾가 제안한 표면의 cavity-trapping effect와 유사하다.

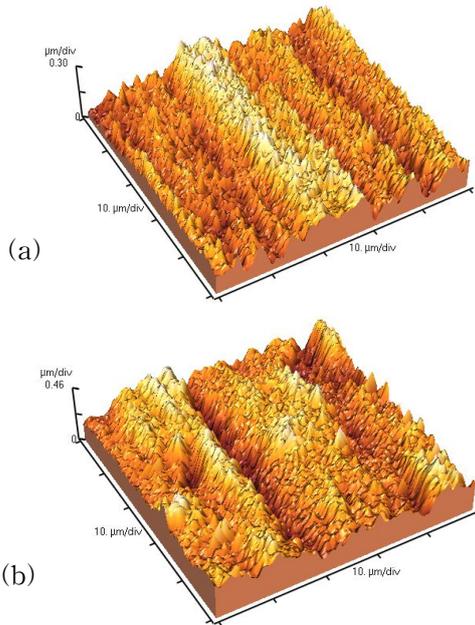


Fig. 9. AFM images of black cobalt selective coating prepared on copper substrate: (a) sample Cu-Co-300-9 and (b) sample Cu-Co-350-9.

그림10은 Co 선택흡수막 시료 Cu-Co-350-9 [그림 10(a)]와 Cu-Co-300-9 [그림 10(b)]의 선택흡수성의 차이를 분석하기 위해 GDS depth profile을 시행하여 정성적으로 조성을 분석한 결과를 나타낸 것이다. GDS는 glow discharge lamp를 이용하여 시료를 스퍼터링 하고, 원소의 발광스펙트럼을 이용하여 박막, 반도체, 금속합금 등의 물질 깊이에 따라 빠른 시간에 성분 분석을 할 수 있는 장비다.

이 그림에서 볼 수 있듯이 두 시료에서 불순물 C가 검출되었는데 이것은 전기로를 사용하여 가열 산화시키는 과정 동안에 생긴 원소이다. 두 시료에서의 Cu/Co 계면 위치를 미루어보아 막 두께는 동일하게 약 4 μm임을 알 수 있다. 그림에서 intensity는 원소 농도에 비례하므로 시료 Cu-Co-350-9가 시료

Cu-Co-300-9 보다 막 깊이에 따라 Co가 약간 더 증가하는 경향을 보이고 있으며 또한 표면층에 O 원소가 많이 침투되어 있음을 알 수 있다. 이 결과들로 미루어 보아 시료 Cu-Co-350-9가 시료 Cu-Co-300-9 보다 선택 흡수성이 우수한 것은 Co가 막 깊이에 따라 약간 더 증가하고 표면에는 두께 1.0 μm 까지 많은 산소량이 침투되어 있는 데에 그 원인이 있음을 알 수 있었다. 그리고 막 표면은 좀 더 거칠고 큰 굴곡이 있는 데에도 그 원인이 있는 것으로 판단된다.

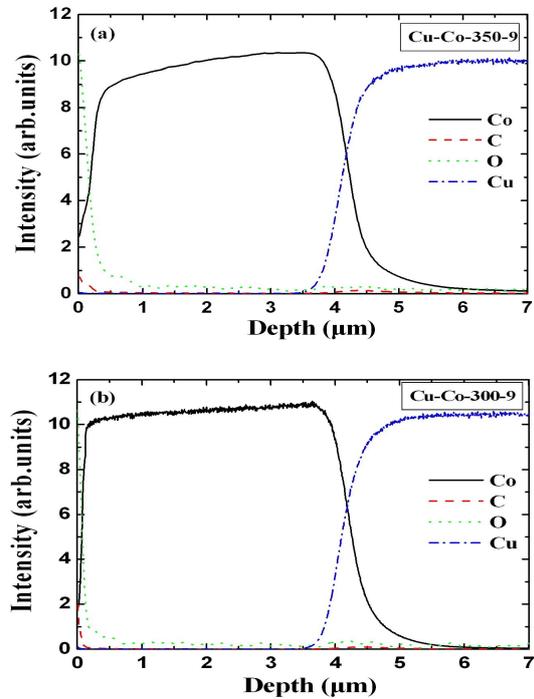


Fig. 10. Qualitative GDS depth profile of the back cobalt selective coating prepared on copper substrate: (a) sample Cu-Co-350-9 and (b) sample Cu-Co-300-9.

4. 결 론

전기도금법으로 Cu, Ni, SS 기판 위에 도금시간과 전기로의 온도를 변화시키면서 black Co 선택흡수막을 제작하여 최적조건을

결정하였다. 도금조건은 Cu 기판 위에 전류 밀도 300 A/m², 도금시간 9분에서 증착한 Co 층을 전기로를 이용 하여 공기중 350 0C에서 3시간 동안 가열 산화시켜 제작된 시료 black Co 선택흡수막 Cu-Co-350-9 시료의 광학적 특성은 $\alpha = 0.82$, $\epsilon = 0.01$ 을 나타내어 좋은 선택 흡수성을 나타내었다. 이 시료의 구조를 GDS로 분석한 결과는 기판 쪽으로 갈수록 Co의 양은 증가하고 O는 표면층에 많이 침투되어 있었으며 AFM에 의한 표면형상은 거칠었으며 굴곡이 있었다. 이것이 광흡수의 원인이 되는 것으로 보여진다. XPS 분석결과 black Co 선택흡수막의 표면은 Co₃O₄, CoO 등의 화합물로 형성되어 있었다. 그외에도 Cu-Co-350-9 시료는 350 0C에서 장시간 가열 시켜도 시료의 광퇴화 $\Delta\alpha = 0$ 가 되어 열적안정성이 있었다.

후 기

본 연구는 2010학년도 경기대학교 학술연구비(일반연구과제) 지원에 의하여 수행되었음(과제번호: 2010-014).

참 고 문 헌

1. O. P. Agnihotri and B. K. Gupta, Solar Selective Surfaces, 1st ed. (Wiley-Interscience Publication, New York, 1981), Chapter. 5.
2. H. Tabor, Bull. Res. Council Israel 5A, 119 (1956).
3. G. B. Smith, A. Ignatiev and G. Zajac, J. Appl. Phys. 51, 4186 (1980).
4. K. D. Lee, W. C. Jung and J. H. Kim, Sol. Energy Mater. & Sol. Cells 63, 125 (2000).
5. Q. C. Zhang, M. S. Hadavi, K. D. Lee, and Y. G. shen, J. Phys. D: Appl. Phys. 36, 723 (2003).
6. V. Teixeira, E. Souse, M. F. Costa, C. Nunes, L. Rosa, M. J. Carvalho, M. Collares-Pereira, E. Roman and J. Gago, Vacuum 64, 299 (2002).
7. K. D. Lee, Korean Phy. Soc. 51, 135 (2007).
8. P. Oelhafen and A. Schüler, Sol. Energy 79, 110 (2005).
9. M. R. Durry, T. Theocharous, N. Harrison, N. F. Moira Hilton, Optics Communications 270, 262 (2007).
10. M. R. Bayati, M. H. Shariat and K. Janghorban, Renewable Energy 30, 2163 (2005).
11. K. D. Lee, Korean Phy. Soc. 49, 187 (2006).
12. G. B. Smith and A. Ignatiev, Sol. Energy Mater. 2, 461 (1980).
13. A. Avila, E. Barrera, L. Huerta and S. Muhl, Sol. Energy Mater. & Sol. Cells 82, 269 (2004).
14. G. B. Smith, G. Zajac, A. Ignatiev and J. W. Rabalais, Sur. Sci. 114, 614 (1981).
15. T. K. Bostrom, E. Wackelgard, and G. Westin, Sol. Energy Mater. & Sol. Cells 89, 197 (2005).
16. A. R. Shashikala, A. K. Sharma, D. R. Bhandari, Sol. Energy Mater. & Sol. Cells 91, 629 (2007).
17. D. Bacon and A. Ignatiev, Sol. Energy Mater. 9, 3 (1983).
18. T. Bostrm, J. Jensen, S. Valizadeh, G. Westin and E. Wackelgard, Sol. Energy Mater. & Sol. Cells 92, 1177 (2008).
19. J. A. Duffie and W. A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 2nd ed. (Wiley-Interscience, New York, 1991).
20. G. Zajac, G. B. Smith and A. Ignatiev, J. Appl. Phys. 51, 5544 (1980).
21. A. Portinha, V. Teixeira, A. Monteiro, M. F. Costa, N. Lima, J. Martins and D. Martinez, Surf. Interface Anal. 35, 72 (2003).
22. C. M. Lampert and J. Washburn, Sol. Energy Mater. 1, 81 (1979).