스퍼터링 증착한 CdTe 박막의 효과적인 Ag 도핑을 위한 이온 교환법 연구

논 문

60-6-14

A Study on Ion Exchange Method for Effective Ag Doping of Sputtering-Deposited CdTe Thin Film

김 철 준* · 박 주 선** · 이 우 선†
(Cheol-Joon Kim · Ju-Sun Park · Woo-Sun Lee)

Abstract - CdTe thin-film solar cell technology is well known that it can theoretically improve its conversion efficiency and manufacturing costs compared to the conventional silicon solar cell technology, due to its optical band gap energy (about 1.45eV) for solar energy absorption, high light absorption capability and low cost requirements for producing solar cells. Although the prior studies obtained the high light absorption, CdTe thin film solar cell has not been come up to the sufficient efficiency yet. So, doping method was selected for the improvement of the electrical characteristics in CdTe solar cells. Some elements including Cu, Ag, Cd and Te were generally used for the p-dopant as substitutional acceptors in CdTe thin film. In this study, the sputtering-deposited CdTe thin film was immersed in AgNO₃ solution for ion exchange method to dope Ag ions. The effects of immersion temperature and Ag-concentration were investigated on the optical properties and electrical characteristics of CdTe thin film by using Auger electron spectroscopy depth-profile, UV-visible spectrophotometer, and a Hall effect measurement system. The best optical and electrical characteristics were successfully obtained by Ag doping at high temperature and concentration. The larger and more uniform diffusion of Ag ions made increase of the Ag ion density in CdTe thin film to decrease the series resistance as well as made the faster diffusion of light by the metal ions to enhance the light absorption.

Key Words : CdTe, Ag-doping, Ion exchange method, AgNO₃

1. 서 론

최근 에너지 자원의 주된 연구테마는 친환경, 저비용으로 요약할 수 있으며, 이를 위해 태양광, 바이오, 연료전지, 태양열 등의 신재생에너지에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 그 중 태양전지를 이용하여 광기전력 효과를 통해 태양광을 전기 에너지로 변환시켜주는 태양광 발전은 현재 가장 실용화에 근접한 신재생에너지이지만 높은 발전 비용이라는 문제점을 안고 있다[1]. 따라서 현재 높은 효율로 가장 많은 생산량을 가지고 있는 실리콘 태양전지를 대체하기 위하여 CdTe, CIGS 등의 화합물 흡광층을 이용한 태양전지 연구가 활발히 진행 중에 있다[2]. 특히 II-VI족 화합물인 CdTe를 사용한 이중접합 박막 태양전지는 박막의 증착 시에 스퍼터링법(sputtering), 근접증착법(close-spaced sublimation), 스크린 프린팅법(screen printing), 스프레이법(spraying), 전해 석출법(electrodeposition) 등 다양한 방법을 통하여 박막의 제조가 용이한 특징을 가지고 있다[3][4]. 또한 에너지 변환에 가장 적합한 1.45 eV의 밴드갭 에너지를 가지고 있으며, $1 \times 10^5 \text{cm}^{-1}$ 의 높은 광흡수계수로 인하여 수 μm 만으로도 충분

한 양의 빛을 흡수할 수 있는 장점을 가지고 있다.[5] 하지만 높은 광흡수계수에 비해 CdTe 태양전지는 소면적, 대면적 모두 이론적으로 도달할 수 있는 최고 효율에 미치지 못하고 있기 때문에 CdTe 박막의 특성을 개선하기 위한 표면 균일도 향상, 증착 공정 조건 개선 및 도핑 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[6][8]. 그 중에서 도핑 방법은 CdTe 박막의 광, 전기적 특성을 개선시키기 위해 구리(Cu), 은(Ag) 등의 물질들을 박막 내로 확산시켜 CdTe 박막의 특성을 향상시키는 것이다[9],[10]. 그러나 Cu는 수백 °C의 높은 온도에서만 높은 용해성과 열확산성을 보여주는 문제점을 가지고 있기 때문에 도핑에의 어려움이 있고, 도핑 이후에도 확산에 의한 태양 전지 소자의 특성을 열화시키는 단점이 있다[6][7]. 본 연구에서는 CdTe 박막에 Ag를 도핑시키기 위하여 이온 교환법(ion exchange method) 공정 조건을 확립하고자 Ag 이온 용액의 온도와 농도의 변화가 CdTe 박막의 광, 전기적 특성에 미치는 영향을 조사 하였다. CdTe 박막의 광특성으로는 가시광 영역에서의 평균 흡광도를 측정하여 비교 분석 하였으며, 전기적 특성의 비교를 위해서는 홀효과(Hall effect) 측정을 통해 표면 저항과 전하 농도를 비교하였다. 또한 오제이전자분광분석기(Auger electron spectroscopy, AES) 정량 분석을 통해 깊이 방향에 대한 Ag의 도핑 정도를 측정하여 비교 분석하였다. 이상과 같은 실험을 바탕으로 CdTe 박막의 이온 교환법을 통한 최적 Ag 도핑 공정 조건과 Ag 도핑에 따른 CdTe 박막의 광, 전기적 특성의 영향에 대해서 연구하였다.

* 정 회 원 : 조선대 공대 전기공학과 박사과정

** 준 회 원 : 조선대 공대 전기공학과 박사과정

† 교신저자, 시니어회원 : 조선대 공대 전기공학과 교수 · 공박

E-mail : wslee@chosun.ac.kr

접수일자 : 2011년 4월 11일

최종완료 : 2011년 5월 23일

2. 실험

본래 CdTe 태양전지의 구조는 빛이 잘 투과되는 유리나 투명성 재질의 기판에 전면의 투명 전극(In_2O_3 , SnO_3 , ITO 등), 광투과층, 광흡수층, 후면전극(Au, Cu/Au 등)으로 이루어져 있으나, 본 실험에서는 CdTe 박막 특성 영향 비교에 중점을 두었기 때문에 유리 기판에 CdTe 박막만을 증착하여 실험을 실시하였다. 유리기판은 Corning Co. Inc. (75×25 mm) 슬라이드글라스(slide glass)를 사용하였다. 일반적으로 CdTe 박막의 제작 방법으로는 스크린 프린팅법, 스프레이법, 전해석출법, 스퍼터링법, 근접승화법 등이 알려져 있다.[3][4] 본 실험에서는 RF 마그네트론 스퍼터링법(Vacuum Science Co.)으로 CdTe 박막을 증착했다. 스퍼터링법은 넓은 면적에 균일한 박막 두께의 증착이 가능하고 박막 두께 조절이 비교적 용이하여 정확한 합금 성분 조절이 가능하다는 장점을 가지고 있다.[11][12] RF 마그네트론 스퍼터링법에 사용된 CdTe 타겟은 LTS Chemical Inc., USA.에서 제조한 순도 99,999%의 2인치 타겟이다. CdTe 박막의 제작 공정 조건은 기판온도, 타겟과의 거리, 스퍼터링 시간, Ar 가스 주입량, 초기진공도를 각각 20℃, 5cm, 8분, 20sccm, 1.0×10^{-6} Torr로 동일하게 고정시켰다. CdTe 박막의 증착 전에는 프리스퍼터링을 10분씩 실시하여 타겟의 불순물을 제거하였다. CdTe 박막의 증착 과정에서는 RF source power를 35Watt, Ar 가스압을 7.5×10^{-3} Torr로 동일하게 유지하였다. 증착된 CdTe 박막은 400℃의 진공 상태에서 1시간 동안 열처리를 하였다. 증착된 CdTe 박막은 이온 교환 용액의 Ag 농도에 따라 도핑을 실시하였다. 이온 교환 용액으로는 Sigma-Aldrich의 AgNO_3 를 DIW(de-ionized water)에 용해하여 사용하였으며, 이 때 용액의 온도와 도핑 시간은 15℃, 5분을 유지하였고 농도는 각각 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3wt%로 구분하였다. 실험 후 증류수를 통해 세척 후 자연 건조를 실시하였다. 그리고 UV-Visible spectrophotometer와 홀효과측정기(Hall effect measurement system)를 통해 가시광 영역 평균 흡광도와 표면 저항, 표면 홀농도를 측정하였으며, 이를 통해 얻어진 결과를 바탕으로 CdTe 박막의 광, 전기적 특성의 개선이 뚜렷한 농도의

표 1 CdTe 박막 제조 조건 및 실험 공정 조건.

Table 1 Fabrication conditions of CdTe thin film and experiment process conditions.

	실험 방법 및 조건
CdTe 박막	<ul style="list-style-type: none"> RF 마그네트론 스퍼터링법 RF-power: 35 Watt Ar 가스압: 7.5×10^{-3} Torr 공정 온도: 15℃
농도변화 공정 조건	<ul style="list-style-type: none"> 온도 15℃, 도핑시간: 5분 Ag 농도: 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3wt%
온도변화 공정 조건	<ul style="list-style-type: none"> Ag 농도: 0.01, 0.3wt% 온도: 15, 30, 45, 60, 75℃

최적 공정 조건을 선정하였다. 온도 변화에 따른 실험은 선정된 최적 농도 조건에서 용액 온도를 변화시키며 실험을 진행하였다. 오스발트의 희석 법칙(Ostwald's dilution law)에서 이온화는 온도와 전해질의 농도가 주요 변수로 작용함을 바탕으로 온도와 농도에 따른 특성 변화를 관찰하였다.[13][14] 온도 조건은 각각 15, 30, 45, 60, 75℃로 구분하였으며, 각 시료들은 동일한 장비를 통해서 광, 전기적 특성을 측정하였다. 한편 AES 분석을 통해 Ag 도핑의 정량 분석 비교를 실시하였다. 표 1은 본 연구를 위한 실험 공정 조건을 나타낸 것이다.

3. 결과 및 고찰

동일한 15℃ 온도에서의 이온 교환 용액의 농도에 따른 광, 전기적 특성을 그림 1에 나타내었다. 광 특성 비교의 지표인 가시광영역(300-800nm)에서의 평균 흡광도를 보면 도핑을 하지 않은 시료는 1.76으로 나타났으며, Ag 도핑을 실

(a)

(b)

그림 1 15℃에서의 Ag 농도에 따른 (a) 평균 흡광도 (300-800nm), (b) 표면 저항 및 표면 전하 농도.

Fig. 1 Average absorbance(300-800nm), sheet resistance and carrier concentration as Ag concentration at 15℃.

시한 모든 조건에서 최소 1.82에서 최대 2.31로 모두 평균 흡광도가 개선 된 것을 확인할 수 있다. CdTe 등의 칼코게 나이드 계열 박막에서는 Ag와 같은 금속성 이온종은 광의 빠른 확산과 분해를 야기한다고 알려진 사실과 일치하는 결과이다.[15] 즉 Ag의 도핑이 CdTe 박막의 흡광도를 증가시켰으며, 그 중에서도 0.01%와 0.3%의 농도에서 가장 우수한 특성을 보여 주고 있다. 흡광도가 높다는 것은 얇은 박막으로도 충분한 빛을 흡수할 수 있으므로 광흡수율의 증가를 의미하며, 이는 곧 박막의 두께를 줄임으로써 제조단가의 절감이 가능하게 할 수 있다. 또한 CdTe 박막의 전기적 특성 비교를 위하여 홀효과를 이용하여 표면저항과 전하 농도를 측정하였다. 태양전지의 전기적 특성은 투명 전도막과 전극 사이에 측정된 전지 전체의 직렬저항의 영향을 받는다. 즉 고효율의 태양전지 제조를 위해서는 이 직렬저항이 낮아야 하는데, 직렬저항에 영향을 미치는 요소로는 CdS와 CdTe 박막 사이의 계면저항, CdTe 박막 자체 저항과 CdTe와 전극간의 접촉 저항이 있다.[16] 또한 CdTe 박막의 자체 저항과 전하 농도는 다음과 같은 관계를 가지고 있다.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = n\mu e$$

위 식에서 σ 는 전도율, ρ 는 고유저항, n 은 전하 농도, μ 는 전하이동도, e 는 전자 한 개의 전하량을 나타내며, 식에서와 같이 전하 농도와 표면 저항은 반비례 관계를 나타낸다.[17] CdTe 박막의 저항이 낮을수록, 즉 전하농도가 높을수록 직렬저항 값을 낮출 수 있다. 그림 1(b)는 CdTe 박막의 표면 저항과 전하 농도를 나타낸 것으로 도핑을 하지 않은 시료보다 Ag 도핑을 수행한 모든 표면 저항은 더 낮게 나타났다. 이 결과는 CdTe 박막에 Ag를 도핑 시킬 경우 고유저항이 낮아진다고 보고된 연구 결과들과 일치하는 결과이다.[18] 또한 CdTe 박막의 전하 농도는 도핑을 수행한 시료들이 더 우수한 결과를 보여주고 있는데, 이 결과 또한 위 식에서 고유저항과 전하 농도와 관계와 일치한다. 그 중에서도 0.01%와 0.3%의 조건들이 가장 우수한 특성들을 보였다. 이러한 결과를 바탕으로 CdTe 박막에 Ag를 도핑하기 위한 이온 교환 용액의 Ag 농도를 0.01%와 0.3%로 판단하고, 0.01%와 0.3% 각각의 농도에서 이온 교환 용액의 온도에 따른 CdTe 박막의 광, 전기적 특성을 측정하였다.

그림 2는 각각 0.01%와 0.3%의 농도에서 이온 교환 용액 온도에 따른 Ag 도핑을 수행한 CdTe 박막의 가시광 영역에서의 평균 흡광도를 나타낸 것이다. 그림 2에서 나타난 결과에 의하면 0.3% 농도로 15℃와 75℃의 Ag 용액에서 도핑한 CdTe 박막은 0.01%에서 도핑한 모든 실험군 보다도 우수한 결과를 나타내었으며, 최고치는 약 2.3을 나타내었다. 75℃ Ag 용액에서 도핑한 CdTe 박막의 광흡수도가 높게 나온 것은 오스발트의 희석율과 일치하는 결과로 온도가 높을수록 이온화가 활발히 이루어져 확산에 의한 도핑이 잘 이루어졌음을 의미한다.[12] 그러나 15℃의 낮은 온도에서 광흡수도가 높게 나온 것은 이온화가 적게되어 소량의 Ag가 도핑되면서 Ag 이온이 CdTe 박막의 깊숙히 확산되지 못함으로써 박막의 얇은 깊이 부분에만 불순물 층을 형성하여 광자결정을 이루는 층이 됨으로써 광의 투과를 방해하고 반사시켜 일종의 후면 광반사 태양전지의 광반사층의 역할을 하여 재흡수를 통한 광흡수도에 기여한 것으로 사료된

그림 2 0.01%와 0.3% 농도에서의 이온 교환 용액의 온도에 따른 평균 흡광도(300-800nm).

Fig. 2 Average absorbance as temperature at 0.01% and 0.3%(300-800nm).

그림 3 0.01%와 0.3% 농도에서의 이온 교환 용액의 온도에 따른 표면 저항.

Fig. 3 Sheet resistance as temperature at 0.01% and 0.3%.

다.[19][20] 이러한 경향은 CdTe 박막의 전기적 특성에 대한 홀효과측정기에 의해 측정 되어진 전기적 특성 결과들에서도 유사하게 나타난다.

그림 3은 0.01%와 0.3%의 농도에서 CdTe 박막의 이온 교환 용액의 온도에 따른 표면 저항을 나타낸 그림이다. 그림 3에서 0.3% 농도의 15℃, 60℃와 75℃ 조건에서 Ag를 도핑한 CdTe 박막의 표면 저항이 낮게 측정되었는데, 그 중에서도 75℃ 조건이 1.14×10^9 [ohm/sq]로 가장 우수한 표면 저항값을 나타냈다. 또한 그림 4는 0.01%와 0.3%의 농도에서 Ag 도핑한 CdTe 박막의 온도에 따른 전하 농도를 나타낸 그림으로써 유사한 경향성을 보이며 0.3%, 75℃에서 도핑한 CdTe 박막의 전하 농도가 1.46×10^9 [carriers/cm²]로 가장 우수하게 측정되었다. 이상의 측정 결과는 그림 2의 결과와 일치하며 Ag 도핑을 수행한 CdTe 박막은 도핑에 의해 전하 농도가 증가함을 확인할 수 있다. 즉, 전하 농도가 증가한 것은 Ag 이온이 CdTe 박막으로 도핑이 잘 이루어

그림 4 0.01%와 0.3% 농도에서의 이온 교환 용액의 온도에 따른 전하 농도.

Fig. 4 Carrier concentration as temperature at 0.01% and 0.3%.

저서 전하 농도의 증가에 의한 CdTe 박막의 저항이 감소하고, 이 때 금속 이온에 의한 빠른 광확산에 의해 광흡수도까지 개선되었다고 사료된다. 이상의 결과와 같이 금속 이온이 증가함으로써 CdTe 박막 자체 저항이 감소하여 CdTe 태양전지의 직렬저항 값을 줄일 수 있고, 광흡수도가 개선됨에 따라 더 얇은 두께의 박막으로 태양전지를 제조할 수 있으므로 Ag 도핑은 에너지 변환 효율의 향상과 생산 원가를 절감할 수 있을 것으로 기대된다.

이와 같은 분석을 통해 확보한 평균 흡광도, 표면저항, 전하 농도에 관련된 결과 값들의 정량적인 비교를 통해 CdTe 박막의 광, 전기적 특성이 최선으로 개선되어진 공정 조건을 0.3% 농도의 15°C와 75°C라 판단하고 도핑을 하지 않은 CdTe 박막의 AES 깊이 에 따른 정량 분석을 통해 CdTe 박막의 깊이 방향에 대한 조성 성분이 어떻게 변화하였는지를 비교, 분석하였다. 그림 5(a)의 도핑을 하지 않은 시료와 이온 교환 용액의 온도를 달리하여 도핑한 (b)와 (c)에서 다른 원소들의 함량은 거의 변화가 없지만 Ag 성분비가 확인한 차이를 보임을 알 수 있다. 도핑을 하지 않은 CdTe 박막은 Ag를 전혀 포함하지 않고 있으며 0.3% 15°C와 75°C 공정 조건에서도 특성이 더 우수 했던 0.3% 75°C 공정 조건이 0.3% 15°C의 공정 조건 보다도 Ag의 도핑 농도가 더 높으며 박막의 깊이 방향으로 상대적으로 균일하게 도핑되어 있다. 이는 더 많은 농도의 Ag 확산에 의해 CdTe 박막의 광, 전기적 특성에 개선 효과를 가져오는 것을 의미하며, 15°C에서 도핑한 (b)의 경우에는 표면에 가까운 특정 영역에만 Ag가 도핑됨으로써 광흡수 개선에 직접적인 영향을 미친 광반사층의 역할을 했음을 확인할 수 있다.

4. 결 론

CdTe 박막의 광, 전기적 특성을 개선시키기 위해 Ag를 도핑하는 방법 중 하나인 이온 교환법의 최적의 공정 조건을 확립하고자 이온 교환법에 사용되는 용액의 Ag 농도와 온도 조건을 변화를 주어가며 각 조건에 따라 CdTe 박막의

(a)

(b)

(c)

그림 5 (a) Non-doping CdTe 박막, (b) 0.3% 15°C와 (c) 0.3% 75°C 공정 조건의 AES 분석.

Fig. 5 Depth profile of (a) non-doping CdTe thin film, (b) 0.3% 15°C and (c) 0.3% 75°C process condition.

광, 전기적 특성을 조사하였다. 광 특성 비교를 위한 가시광 영역 평균 흡광도, 전기적 특성 비교를 위한 표면 저항, 전하 농도 모두 0.3% 15°C와 75°C가 가장 우수한 특성을 나타냈으며 그 중에서도 0.3% 75°C 공정 조건은 다른 공정 조건들에 비해 광 및 전기적 특성 모두가 월등히 개선됨을 보여 주었으며, Ag의 도핑 정도를 위한 AES 분석에서 Ag가 더 높은 농도로 박막 전체에 균일하게 도핑된 것을 확인할 수

있었다. 이러한 결과를 종합해 볼 때, CdTe 박막에 이온교환법을 통해 Ag를 도핑하기 위한 최적의 이온 교환 용액의 wt%농도와 온도는 0.3% 75℃ 공정 조건으로 판단되며, CdTe 박막에 도핑된 Ag 금속 이온은 광의 빠른 확산과 분해를 통한 광 흡수도의 향상 및 전하 농도의 증가를 통한 박막의 저항 감소에 기여함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. 2011-0003000).

참 고 문 헌

- [1] 조은철, 조영현, 김동섭, 이수홍, 지일환, “실리콘 태양 전지의 개발현황”, 전기전자재료, Vol. 8, No. 3, pp. 362-371, 1995.
- [2] 안병태, “CdTe 박막 태양전지 기술동향”, 한국태양에너지학회지 Vol. 4, No. 3, pp. 33-39, 2005.
- [3] 윤경훈, “박막 태양전지 기술개발 현황”, 한국전기화학회, 전기기술심포지움 학술대회지, pp. 189-210, 2001.
- [4] 이재형, 최성현, 이동진, 이종인, 양동건, 양계준, 이준신, “스퍼터 암력에 따른 태양전지용 CdTe 박막의 구조적, 광학적 특성”, 한국전기전자재료학회, 추계학술대회논문집, pp. 101-102, 2005.
- [5] 윤재호, 안병태, 김동환, “CdTe 박막 태양전지의 기술 동향”, 한국세라믹학회 세라미스트, Vol. 8, No. 5, pp. 47-52, 2005.
- [6] Youn-Ok Choi, Nam-hoon Kim, Ju-Sun Park, Woo-Sun Lee, “Influences of thickness-uniformity and optical properties of sputtered CdTe thin film for large-area II-VI semiconductor heterostructured solar cells”, Materials Science and Engineering B, Vol. 171, pp. 73-78, 2010.
- [7] Steven S, Hegedus, Brian E, McCandless, “CdTe contacts for CdTe/CdS solar cells: effect of Cu thickness, surface preparation and recontacting on device performance and stability”, Aolar Energy Materials & Solar Cells, Vol. 88, pp. 75-95, 2005.
- [8] N.-H. Kim, Y.O. Choi and W.-S. Lee, “Enhancement of optical properties for CdTe absorber through improving thickness uniformity by CMP process”, Electronics Letters, Vol. 46, No. 14, pp. 1019-1021, 2010.
- [9] Nazar Abbas Shah, Abid AliAsghari, Maqsood, “Characterization of CdTe thin films fabricated by close spaced sublimation technique and a study of Cu doping by ion exchange process”, Journal of Non-Crystalline Solids, Vol. 355, pp. 1474-1478, 2009.
- [10] N. Abbas Shah, A. Ali, A.K.S. Aqili, A. Maqsood, “Physical properties of Ag-doped cadmium telluride thin films fabricated by closed-space sublimation technique”, Journal of Crystal Growth, Vol. 290, pp. 452-458, 2006.
- [11] 최진영, 이임근, 정종진, 박성준, 이동윤, 김희재, “연료 감응형 태양전지의 대면적화에 따른 셀 특성 연구”, 한국신·재생에너지학회 춘계학술대회논문집, pp. 189-191, 2005.
- [12] 정해원, 이천, 신재혁, 신성호, 박광자, “스퍼터링에 의한 CdTe박막 제조 조건이 CdTe/CdS 태양전지의 특성에 미치는 영향”, 전기전자재료학회논문지, Vol. 10, No. 9, pp. 930-937, 1997.
- [13] Dr. D. A. MacInnes, “THE INTERIONIC ATTRACTION THEORY OF ELECTROLYTES”, SCIENCE, Vol. 86, No. 2219, pp. 23-29, 1937.
- [14] Nam-Hoon Kim, Yong-Jin Seo, Woo-Sun Lee, “Effects of Silica Slurry Temperature on Chemical Mechanical Polishing for Tetraethyl Orthosilicate (TEOS) Film”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, No. 40, pp. L1256-L1258, 2005.
- [15] 여종빈, 윤상돈, 이현용, “홀로-리소그래피를 이용한 칼코게나이드 박막으로의 Ag 포토도핑의 기판 의존성”, 전기전자재료학회 하계학술대회논문집, pp. 189-190, 2007.
- [16] 정해원, 이천, 신재혁, 신성호, 박광자, “스퍼터링에 의한 CdTe 박막 제조 조건이 CdTe/CdS 태양전지의 특성에 미치는 영향”, 전기전자재료학회지, Vol. 10, NO. 9, pp. 930-937, 1997.
- [17] S. Calnan, A.N. Tiwari, “High mobility transparent conducting oxides for thin film solar cells”, Thin Solid Films, Vol. 518, pp. 1839-1849, 2010.
- [18] A. Ali, N. Abbas shah, A. Maqsood, “Characterization of cadmium telluride thin films fabricated by two-source evaporation technique and Ag doping by ion exchange process”, Solid-State Electronics, Vol.52, pp. 205-210, 2008.
- [19] 윤보경, 박철민, “블록공중합체 광자결정”, 고분자과학과 기술, Vol. 15, No. 3, pp. 317-326, 2004.
- [20] 임정욱, 윤선진, 이승윤, “박막 실리콘 태양전지의 광이용률 개선 기술”, 정보통신산업진흥원 주간기술동향, pp. 1-13, 2011.

저 자 소 개

김 철 준 (金 喆 準)

1957년 9월 10일생, 1980년 2월 조선대학교 전기공학과 졸업, 1994년 8월 조선대학교 산업대학원 졸업(공학석사), 2011년 조선대학교 대학원 전기공학과 박사수료, 1982년 한국전력공사 입사, 1996년~2002년 한국전력공사 원자력연수원 및 한국

수력원자력 영광본부 교육훈련센터 교수, 2003년~2010년 한국수력원자력 영광본부 제3발전소 발전부장, 전기부장, 정비기술팀장, 안전팀장, 2010년~2011년 한국수력원자력 영광본부 교육훈련센터장, 2011년~현재 한국수력원자력 영광본부 제2발전소 기술실장

Tel : 010-2375-6755

Fax : 061-357-2203

E-mail : kimcj8@khnp.co.kr

박 주 선 (朴 柱 善)

1979년 11월 15일생. 2007년 조선대학교 전기공학과 졸업. 2008년 조선대학교 일반대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 2011년 현재 조선대학교 일반대학원 전기공학과 박사과정 재학.

Tel : 062-230-7864

Fax : 062-230-7024

E-mail : ppppp505@hanmail.net

이 우 선 (李 愚 宣)

1952년 1월 23일생. 1974년 조선대학교 전기공학과 졸업. 1978년 조선대학교 일반대학원 전기공학과 졸업(공학석사), 1984년 중앙대학교 일반대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1982~1983년

University of Massachusetts IBRD 교환

교수, 1989~1990년 Purdue University Post-Doc, 1992년 동경공업대학 객원연구원, 1998~2000년 조선대학교 에너지지원기술연구소장, 2000년 한국전기전자재료학회 반도체연구회장, 2000년 한국전기전자재료학회 광주전남지부장, 2001~2003년 조선대학교 연구처장, 2004~2005년 University of California Santa Barbara 교환교수, 2008년 대한전기학회 광주전남지회장, 2010년 대한전기학회 이덕출학술상 수상, 1978년~현재 조선대학교 전기공학과 교수

Tel : 062-230-7024

Fax : 062-232-9218

E-mail : wslee@chosun.ac.kr