

n-CdS/p-(β -FeSi₂)이질이음형성과 특성

김정혁, 한명욱, 박수일

지금 세계적으로 지구환경에 적합한 반도체재료를 개발하고 그것을 응용하여 새로운 태양전지를 제작하기 위한 연구가 활발히 벌어지고있다.

지구상에 풍부한 원소들로부터 환경에 영향을 주지 않는 반도체재료들을 만들어내는 것은 자연에너지의 적극 리용하기 위한 중요한 방도의 하나이다.

β -FeSi₂재료는 내열성, 내부식성재료로서 1950년대부터 열전변환재료[5, 6]로 많이 연구되고 일부 실용화[1, 2]된 금속류화물중의 하나이지만 태양빛전기변환재료로 리용할수 있다는 연구결과들은 아직 발표되지 않았다.

우리는 스크린인쇄법으로 n-CdS/p- β -FeSi₂이질이음을 형성하고 그것의 전지특성을 평가하였다.

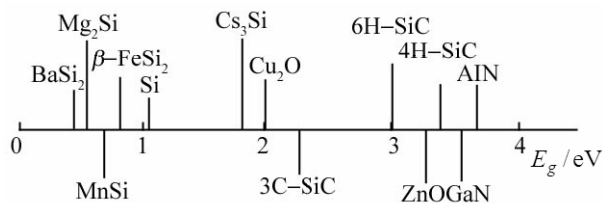


그림 1. 자원이 풍부한 원소들로 이루어지는 반도체들의 금지띠너비

3C, 4H, 6H-SiC 는 각각 3중주기립방구조, 4중주기립방구조, 6중주기립방구조

몇가지 원소들로 이루어진 반도체들을 금지띠에너지의 크기순서로 배열하면 그림 1과 같다.

그림 1에서 보는바와 같이 반도체들의 금지띠에너지는 적외선영역으로부터 가시선영역까지의 넓은 대역에 걸쳐 있다.

우리는 여기서 원료자원이 무진장한 β -FeSi₂을 주목하였다.

Fe-Si의 2원계상도표는 그림 2와 같다.[3, 8]

그림 2에서 보는바와 같이 화학량론조성의 FeSi₂은 982~1 212°C에서 ϵ -FeSi₂, α -FeSi₂과 같은 2개의 상을 가지며 반전도성 β -FeSi₂은 982°C아래에서 존재한다. 반전도성 β -FeSi₂은 포석반응에 의하여 ϵ -FeSi₂과 α -FeSi₂로부터 얻는다.

p- β -FeSi₂합성 Fe(4N)와 Si(5N)를 각각 40, 60질량% 되게 평량하여 고주파유도로의 도가니(《ZGJLO 01-50-4A》)에 장입한 다음 진공 또는 Ar분위기에서 1 410°C까지 가열용융한다. 용융물을 균일화하기 위하여 2h동안 정적상태로 유지한 후 방온도까지 30K/min의 속도로 냉각시킨다.

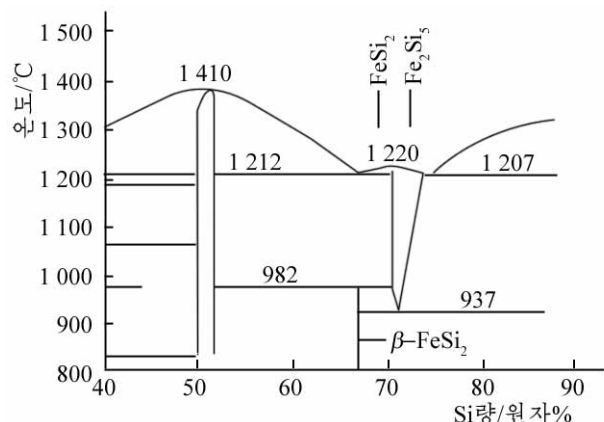


그림 2. Fe-Si의 2원계상도표

열탐침법으로 β -FeSi₂의 전도형을 측정한 결과 혼입물로 Mn을 첨가하기 전에는 고유형이었으나 Mn을 첨가한 후 p형전도성을 가지었다.

p- β -FeSi₂의 XRD도형은 그림 3과 같다.

그림 3에서 보는바와 같이 우리가 합성한 물질의 XRD도형은 선행연구결과[4, 7]와 일치하였으며 미량의 ϵ -FeSi₂이 포함되어있다.

CdS소결박막의 성장 우리는 CdS박막의 성장을 진공저온박막성장로에서 진행하였다.

로의 특성에서 중요한것은 로안에서 등온 구역의 길이가 최소한 시료용기의 길이와 같거나 더 길어야 하며 온도요동은 $\pm 1^\circ\text{C}$ 이하여야 한다는것이다.

우리가 리용한 진공저온박막성장로의 온도분포특성은 그림 4와 같다.

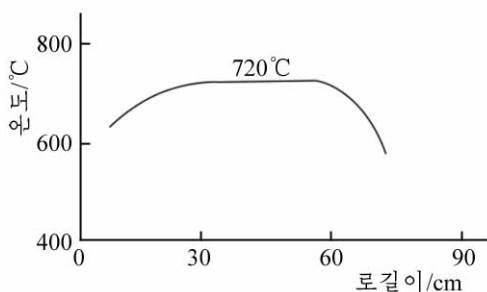


그림 4. 진공저온박막성장로의 온도분포특성

720°C에서 15~20min동안 유지한 후 반응관을 로에서 천천히 꺼내여(빠른 속도로 이동시키면 막의 균형이 파괴되고 막과 기판사이의 부착력이 약해진다.) 로끝에서 자연랭각시켰다.

열탐침법으로 CdS소결박막의 전도형을 측정한 결과 n형전도성을 가지었다.

CdS표준시료와 소결성장시킨 박막의 XRD도형은 그림 5와 같다.

그림 5에서 보는바와 같이 CdS성장박막의 상 및 미세구조는 변화되지 않았다.

박막의 두께를 간섭현미경으로 관측한 결과 소결성장후 박막두께는 5~10 μm 였다. 박막의 두께가 감소되는것은 소결과정에 립자들사이 가 치밀해지는것과 관련된다고 볼수 있다.

빛흡수손실을 낮추기 위하여 박막두께를 3~4 μm 까지 감소시켜야 한다.

소결성장박막들의 비저항은 보통 $2\Omega \cdot \text{cm}$ 였다.

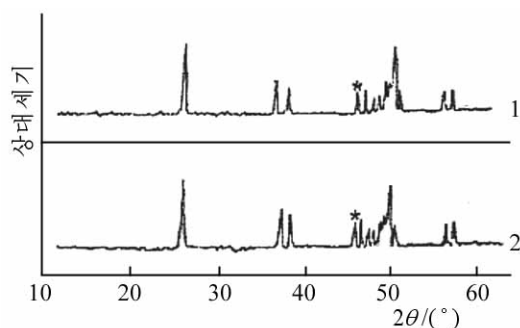


그림 3. p- β -FeSi₂의 XRD도형
1-선행연구결과[4, 7], 2-합성물질, * ϵ -FeSi₂

CdS분말(4N) 95질량%, 용제 5질량%와 적당한량의 점결제로 스크린인쇄액을 제조하였다.

스크린인쇄법으로 유리기판위에 CdS박막을 두께 15~20 μm 되게 입혔다.

인쇄된 CdS박막을 1h동안 100°C의 진공건조로에서 건조시켰다.

다음 CdS막을 입힌 유리기판을 소결용기에 담아 반응관의 중심에 넣고 진공저온박막성장로(내부압력 10^{-2}Pa , 중심부온도 720°C)의 중심까지 이동시켰다.

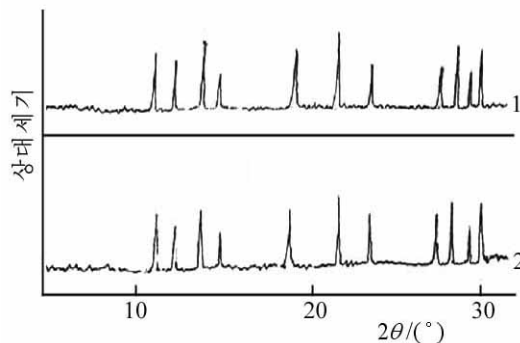


그림 5. CdS의 XRD도형
1-표준시료, 2-성장시킨 박막

소결온도에 따르는 CdS박막의 비저항변화는 그림 6과 같다.

그림 6에서 보는바와 같이 진공소결성장시킨 CdS박막의 비저항은 소결온도가 높아짐에 따라 선형적으로 감소하였다.

소결시간에 따르는 CdS소결성장박막의 두께변화는 그림 7과 같다.

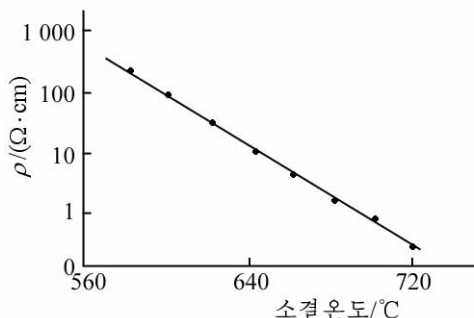


그림 6. 소결온도에 따르는
CdS박막의 비저항변화
소결시간 20min

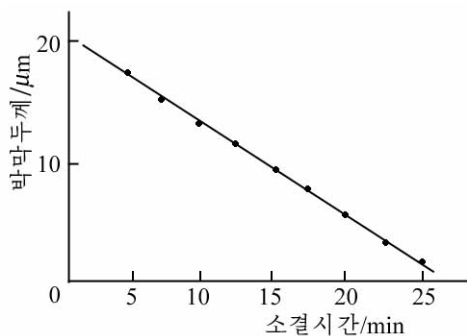


그림 7. 소결시간에 따르는 박막의 두께변화
소결온도 720°C

그림 7에서 보는바와 같이 소결시간이 길어짐에 따라 박막의 두께는 선형적으로 감소하였다. 따라서 박막의 두께는 소결온도와 소결시간을 변화시켜 필요에 따라 조종할수 있다.

소결박막의 비저항은 CdS소결박막에 존재하는 Cl_2 함량에 많이 관계되는데 Cl_2 은 소결 과정에 용재로부터 생성된다.

Cl_2 함량이 0.2질량%일 때 CdS박막의 비저항은 $2\Omega \cdot \text{cm}$ 였다.

높은 효율을 가지는 태양전지에 필요한 박막의 비저항이 최소 $0.1\Omega \cdot \text{cm}$ 또는 그 이하라고 볼 때 CdS박막의 비저항은 크다.

p-β-FeSi₂박막의 성장 1μm이하로 분쇄한 p-β-FeSi₂ 90질량%, 용재 10질량%와 적당한 량의 점결제로 이루어진 혼합물을 8h동안 분쇄하여 스크린인쇄액을 제조하였다. 이것을 스크린인쇄법으로 CdS소결성장박막우에 인쇄한 다음 100°C에서 1h동안 건조시키고 720°C에서 25min동안 소결성장하였다.

열탐침법에 의한 전도형측정결과 역시 p형이며 금지띠에너지는 0.84eV였다.

n-CdS/p-β-FeSi₂이질이음의 형성과 특성 n-CdS소결박막우에 p-β-FeSi₂박막을 입히고 소결성장시키면 두 반도체물질의 경계면에서 p-n이음이 형성된다.

p-n이음의 깊이는 p-β-FeSi₂의 성장시간, 소결온도에 많이 관계되며 p-β-FeSi₂박막의 비저항에도 관계된다.

n-CdS/p-β-FeSi₂이질이음특성을 연구하기 위하여 직시장치(《TR-4805-1》), 3극소자검사기(《BM-429》), 간섭현미경을 리용하였다.

간섭현미경을 리용하여 이음깊이, 이음너비, 이음의 균일도 등을 측정한 결과 p-n이음은 비대칭이음특성을 가지며 특히 이음은 CdS쪽으로 치우친다.

한편 정방향저항과 역방향저항은 큰 차이를 가지었다. 이것은 두 박막의 계면에 p-n이음이 형성되었다는것을 보여주는것으로 된다.

AM1.5의 빛조임밑에서 전지의 개방전압은 0.5V, 단락전류밀도는 2.5mA/cm²였다.

개방전압이 낮은것은 p- β -FeSi₂의 금지띠에너르기가 작기때문이다. 그러나 적당한 고용체를 형성한다면 p- β -FeSi₂의 금지띠에너르기를 크게 할수 있다.

단락전류는 박막의 저항, 전극접촉저항에 많이 관계되며 특히 p- β -FeSi₂의 빛흡수스펙트럼과 태양빛복사스펙트럼과의 부정합에 관계된다.

맺 는 말

우리는 처음으로 원료자원이 무진장한 반도체재료인 β -FeSi₂에 기초하여 태양전지를 만들수 있다는것을 실험적으로 확증하였다.

직접합금법으로 β -FeSi₂을 합성하고 Mn을 첨가하여 p- β -FeSi₂을 얻었다.

스크린인쇄법으로 형성한 n-CdS/p- β -FeSi₂이질이음의 빛전기변환특성을 평가하면 AM1.5의 빛조임밑에서 전지의 개방전압은 0.5V, 단락전류밀도는 2.5mA/cm²였다.

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 60, 1, 42, 주체103(2014).
- [2] 김일성종합대학학보(자연과학), 60, 1, 58, 주체103(2014).
- [3] 김일성종합대학학보(자연과학), 56, 8, 91, 주체99(2010).
- [4] 한상설; 결정구조분석학, 김일성종합대학출판사, 290~300, 1991.
- [5] Zhao Naugin; Journal of Materials Processing Technology, 170, 3, 586, 2005.
- [6] C. Jair et al.; Acta Material, 53, 19, 5095, 2006.
- [7] Hiroshi Nagai; J. Alloys and Comp., 322, 226, 2001.
- [8] Xirurong Qu; Materials Chemistry and Physics, 129, 331, 2011.

주체104(2015)년 6월 5일 원고접수

n-CdS/p- β -FeSi₂ Hetero-Junction Formation and Characteristics

Kim Jong Hyok, Han Myong Uk and Pak Su Il

We synthesized p- β -FeSi₂ by doping Mn to β -FeSi₂ and made its printing paste and grew the film by screen figure printing method.

We also formed the n-CdS/p- β -FeSi₂ hetero-junction as a semiconductor material for photo-electric conversion and analyzed its characteristics.

The photo-electric conversion characteristics are as follows: open voltage is 0.5V and short circuit current is 2.5mA/cm² under AM1.5 photo irradiation.

Key words: n-CdS/p- β -FeSi₂, hetero-junction, screen figure print