

# n-type CIS 와 p-type CuSe의 이종접합구조에서의 전류 특성 및 광특성 측정

## Measurement of the electric and optical characteristics of the hetero-junction with n-CIS/p-CuSe

이상수, 김경암\*, 조두희, 송기봉  
ETRI , \* ETRI / 서강대학교 물리학과  
sangsu@etri.re.kr

1970년대 Bell Labs의 연구 결과를 시초로 CIS(CuInSe<sub>2</sub>)를 이용한 Solar Cell의 제작 및 다양한 특성에 관한 연구 결과들이 계속적으로 발표되어 왔다. 이는 CIS가 가지는 넓은 밴드갭(Bandgap)에 의한 광 반응성에 기인하는 것으로, Solar Cell외에도 LED, photovoltaic detector와 같은 응용 소자의 개발에도 쉽게 적용될 수 있었다. 하지만 CIS의 광 반응성을 이용한 스위칭소자의 개발에 관해서는 아직까지 주목할 만한 성과가 보고되지 않고 있다. 본고에서는 n-type 전도특성(conductivity)를 가지는 CIS 박막에 p-type CuSe 박막을 증착하여 제작된 이종접합 다이오드(hetero-junction diode)의 기본적인 I-V특성 및 빛에 대한 반응성의 측정 결과를 기술하고 이를 토대로 향후 photo-TFT와 같은 스위칭 소자로써의 개발 가능성에 대해서 검토한다.

일반적으로 CIS 소재는 약한 p-type의 conductivity를 가지는 것이 상례이나 In의 도핑 정도에 따라 n-type의 특성을 나타낸다<sup>(1)</sup>. 접합에 사용된 두 소재가 가지는 주요한 반도체 특성값들을 표 1에 요약하였다.

표 1. n-type CIS와 p-type CuSe 소재로부터 측정된 반도체 특성값

	CIS	CuSe
n <sub>i</sub> [cm <sup>-3</sup> ]	1.6×10 <sup>11</sup>	9.9×10 <sup>12</sup>
impurity concentration [cm <sup>-3</sup> ]	-9.04×10 <sup>15</sup>	+1.06×10 <sup>18</sup>
ε <sub>r</sub> (relative dielectric constant)	10 (assumed)	10 (assumed)
D (carrier diffusion coefficient) [cm <sup>2</sup> /sec]	0.60(=D <sub>n</sub> )	0.11(=D <sub>p</sub> )
L (minority carrier diffusion length)[sec]	5×10 <sup>-7</sup> (L <sub>p</sub> , assumed)	5×10 <sup>-7</sup> (=L <sub>n</sub> , assumed)

그림 1은 두 소재의 접합에 의한 밴드 구조를 간략하게 나타내고 있다. 이들 소자의 접합은 결국 이종접합 다이오드 구조로 이해될 수 있다. 이종접합 다이오드에 대한 이상적 전류밀도 방정식<sup>(2)</sup>은 식(1)과 같이 요약될 수 있으나 여기에는 Schockley-Hall-Read 재결합과 같은 몇몇 주요한 캐리어의 재결합에 따른 요소들은 배제되어 있다.

$$J_{ideal} = q \left( \frac{D_n n_{i,p}^2}{L_n N_a} + \frac{D_p n_{i,n}^2}{L_p N_d} \right) (\exp \frac{qV}{kT} - 1) \tag{1}$$

식(1)로부터 계산된 전류밀도-전압(J-V) 관계 그래프를 인가 전압범위 내에서의 전류값의 크기차를 고려하여 로그스케일로 나타낼 경우, 순방향전압과 역방향전압 인가에 따라 각각 그림 2의 (a)와 (b)처럼 나타난다. 그림에서 역방향전압에 의한 포화전류밀도의 예상값은 -17.9[μA/cm<sup>2</sup>]였다. 또한 위 표의 파라미터 값들을 이용하여

계산된 접촉전위차(Junction Voltage)는 0.85[V]였으며 공핍영역(Depletion Region)의 길이는 35.2[ $\mu\text{cm}$ ]였다.

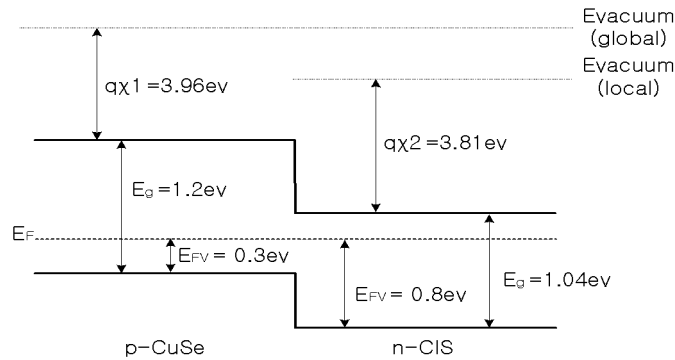


그림 1. p-CuSe와 n-CIS의 이종접합에 대한 flat-band energy 구조

반면 실제 제작한 다이오드로부터 측정된 전류-전압(I-V)의 관계 그래프는 그림 2의 (c)와 같다.

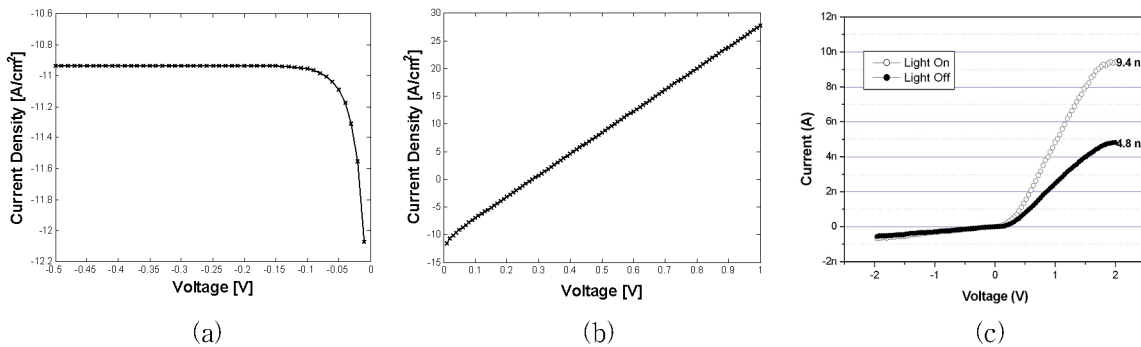


그림 2. 역방향 전압인가시(a)와 순방향 전압인가시(b)의 전류밀도의 계산값; 실제 제작된 다이오드에 빛의 조사 유무에 따라 측정된 전류-전압 관계(c)

그림 2(c)에서, 2[V] 순방향 전압 인가시 빛의 조사 유무에 따른 전류값의 크기는 각각 9.4[nA]와 4.8[nA]로써 거의 2배 정도의 차이를 나타낸다. 더구나 측정시 사용된 빛은 지름 6[mm] 정도의 spot 형태로 소자의 전면적을 고루 조사하지 않았던 점을 고려할 때, CIS의 밴드갭에 부합하는 단파장의 빛을 고루 조사할 경우 보다 훌륭한 광특성을 얻을 것으로 기대된다. 여기서 주목할 점은 빛의 조사에 대해서도 기본적인 정류기능을 그대로 보여주고 있다는 점이다. 따라서 향후 이들 소재를 이용한 TFT 구조의 광 스위칭소자도 충분히 구현 가능할 것으로 예상된다.

본 고에서는 n-type CIS와 p-type CuSe를 이용한 이종접합 다이오드를 구현하였으며 이로부터 측정된 I-V 특성에 관해 기술하였다. 또한 실제적인 광 반응성을 확인하기 위해 빛이 입사 전후 측정된 전류값의 변화량을 비교하였으며 이로부터 두 소재를 이용한 광 스위칭소자의 개발 가능성을 확인할 수 있었다.

1. Antonio Luque and Steven Hegedus, "Handbook of Photovoltaic Science and Engineering", Wiley InterScience, 567-616 (2004).
2. Bart Van Zeghbroeck, "Principles of Semiconductor Devices", <http://ece-www.colorado.edu/~bart/book>.