

# FABRIKASI STRUKTUR HETERO CdTe/CdS:Zn DENGAN DC MAGNETRON SPUTTERING (*HOMEMADE*) UNTUK APLIKASI SEL SURYA

---

Sugianto, Sunarno

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang  
Email: sugianto@staff.unnes.ac.id

Abstrak. Deposisi film tipis struktur hetero CdTe/CdS:Zn dilakukan dengan metode dc magnetron sputtering (*home made*) untuk aplikasi sel surya. Struktur hetero yang ditumbuhkan adalah tipe “*Superstrate configuration*” dengan struktur Ag/p-CdTe/n-CdS:Zn/ITO/glass. Optimasi performa struktur-hetero dilakukan dengan doping Zn pada CdS, variasi daya plasma dan *treatment* CdCl<sub>2</sub> pada film CdTe. Karakterisasi sifat listrik struktur-hetero menggunakan pengukuran arus-tegangan (*I-V*). Pengukuran I-V pada kondisi tanpa penyinaran (*dark*) menunjukkan struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass mempunyai karakteristik ideal diode persambungan p-n. Arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi pada saat diberikan bias maju besarnya orde 10<sup>-8</sup> – 10<sup>-11</sup>A. Penambahan doping Zn (5%) pada CdTe telah meningkatkan performa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass. Penumbuhan struktur hetero dengan daya tinggi dan *treatment* CdCl<sub>2</sub> telah meningkatkan efisiensi sel surya. Tegangan *open circuit* (V<sub>oc</sub>) dan arus *short circuit* (I<sub>sc</sub>) yang masih rendah mengindikasikan bahwa hambatan seri (R<sub>s</sub>) dari material struktur hetero masih besar.

Kata Kunci: Sel surya, struktur-hetero CdTe/CdS:Zn, film tipis, dc magnetron sputtering

## PENDAHULUAN

Material sel surya yang menarik untuk dikaji adalah *cadmium telluride* (CdTe) dan *cadmium sulfida* (CdS). Kedua material ini memiliki peranan penting dalam teknologi sel surya film tipis. CdTe merupakan material dengan *direct bandgap* sebesar 1,5 eV (Gupta & Compaan, 2004; Perrenoud *et al.*, 2011) sehingga mampu menyerap seluruh spektrum pada rentang panjang gelombang cahaya tampak. Selain itu, material CdTe memiliki koefisien absorpsi yang sangat tinggi ( $\alpha > 1 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$ ), 1  $\mu\text{m}$  film CdTe mampu mengabsorpsi sekitar 90% foton yang energinya lebih tinggi dari *bandgap* (Gupta & Compaan, 2004). CdS sebagai material dengan energi *bandgab* yang lebar (2,4 eV) dalam teknologi sel surya film tipis berperan sebagai *window layer*. Dengan adanya lapisan ini, hampir seluruh cahaya dengan panjang gelombang pendek

mampu melewati *interface* antar lapisan di bawah *window layer*. Selain itu, *window layer* yang merupakan daerah persambungan berfungsi sebagai tempat singgah sementara pembawa muatan minoritas yang dibangkitkan oleh cahaya sebelum terjadi rekombinasi (Gupta & Compaan, 2004). Oleh sebab itu, jika kedua material tersebut dikombinasikan dan diolah dengan tepat untuk aplikasi sel surya film tipis, maka sangat mungkin sekali akan dihasilkan sel surya film tipis dengan performa yang unggul.

Sel surya film tipis yang menggunakan material CdTe sebagai lapisan absorber, secara teori memungkinkan memiliki efisiensi konversi daya sebesar 29 % (El Chaar *et al.*, 2011). Nilai ini jauh lebih tinggi dibandingkan efisiensi teoritis sel surya silikon amorf dan CIS (El Chaar *et al.*, 2011). Akan tetapi, fakta dilapangan menunjukkan bahwa sel surya film tipis berbasis CdTe yang telah berhasil diproduksi masih memiliki efisiensi yang jauh lebih rendah dari efisiensi teoritisnya. Sel surya film tipis CdTe yang telah diproduksi hanya mampu mencapai nilai efisiensi maksimal 16,5% (Crossy *et al.*, 2012; Gupta & Compaan, 2004; Perrenoud *et al.*, 2011). Untuk kepentingan yang lebih luas, maka nilai efisiensi ini masih harus ditingkatkan.

Upaya untuk meningkatkan efisiensi sel surya film tipis berbasis material CdTe dan CdS telah dilakukan dengan berbagai cara. Metode pertama adalah pelebaran *bandgap* CdS *window layer*. Pelebaran *bandgap* material CdS sebagai *window layer* dapat dilakukan dengan pemberian doping. Pada penelitian ini material CdS didoping dengan unsur Zn. Dengan bertambah lebarnya *bandgap* CdS *window layer*, akan mengakibatkan rentang spektrum cahaya yang dapat menembus lapisan tersebut semakin bertambah sehingga diharapkan jumlah elektron yang dibebaskan oleh foton juga ikut meningkat (Perrenoud *et al.*, 2011). Meningkatnya jumlah elektron bebas pada sel surya mengakibatkan energi listrik yang dihasilkan sel surya tersebut semakin besar. Sehingga secara tidak langsung, pelebaran *bandgap* dari *window layer* akan meningkatkan efisiensi sel surya. Metode lain untuk meningkatkan performa sel surya CdTe/CdS adalah memperbesar ukuran grain pada kristal CdTe (*recrystallize*) melalui *treatment dengan CdCl<sub>2</sub> solution*.

Struktur hetero CdTe/CdS telah ditumbuhkan dengan berbagai metode antara lain dengan CSS (*close space sublimation*) (Linam *et al.*, 2001) dan rf magnetron sputtering (Lee, 2011). Pada penelitian ini struktur hetero CdTe/CdS:Zn ditumbuhkan dengan dc magnetron sputtering (*home made*).

## **METODE**

Penelitian ini dilaksanakan menjadi tiga tahap yaitu: (1) Penyiapan target sputtering dalam bentuk pellet yaitu CdTe, CdS, CdS:Zn (5%); (2) Penumbuhan struktur-hetero metal/CdTe/CdS/ITO/gelas; dan metal/CdTe/CdS:Zn/ITO/gelas; (3) Karakterisasi sifat listrik dan pengukuran efisiensi konversi energi menggunakan pengukuran arus-tegangan (I-V). Target sputtering dibuat dengan cara powder CdTe, CdS, CdS:Zn(5%) masing-masing dipress dengan pompa hidraulik

dilanjutkan pemanasan dalam furnace pada suhu 600°C selama dua jam, kemudian didinginkan secara alami.

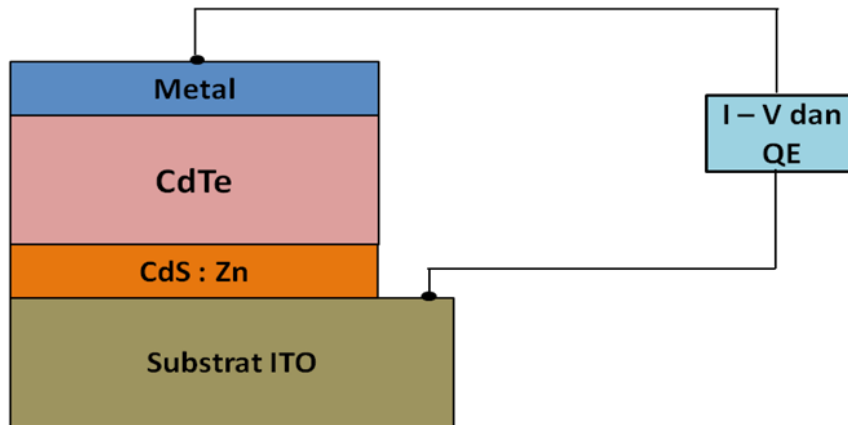
Penumbuhan film dilakukan di atas substrat ITO (indium tin oxide). Proses deposisi diawali dengan preparasi substrat ITO. Substrat dipotong dengan ukuran kurang lebih 0,50 cm<sup>2</sup> kemudian dicuci dengan acetone dan metanol dalam ultrasonic bath selama 10 menit. Substrat dibilas dengan air dan dikeringkan dengan cara disemprot gas nitrogen. Substrat ITO segera ditempatkan pada *sampel holder* dan reaktor divakumkan hingga tekanan reaktor lebih rendah dari 1 mTorr. Selama penumbuhan gas argon dialirkan dalam reaktor hingga tekanan reaktor menjadi sekitar 450 mTorr. Kemudian temperatur pemanas diseting sesuai parameter yang ditentukan, gas argon dialirkan, dan diberikan tegangan tinggi sehingga menghasilkan plasma. Penumbuhan film CdS dan CdTe dilakukan dalam waktu penumbuhan yang ditentukan guna memperoleh ketebalan yang ditetapkan sebelumnya. Daya penumbuhan film CdTe divariasikan mulai dari 24 watt hingga 50 watt. Parameter penumbuhan struktur hetero dirangkum dalam Tabel 1.

Struktur hetero CdTe/CdS yang ditumbuhkan adalah tipe “*Superstrate configuration*” dengan struktur metal/p-CdTe/n-CdS/ITO/glass seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Metal yang digunakan logam perak (*silver conductive paint*) yang mempunyai sifat ohmik kontak. Pengukuran arus–tegangan dilakukan dengan menggunakan I-V meter (ELKAHFI 100). Pengukuran I-V untuk mengkaji karakteristik persambungan p-n, besarnya arus saturasi dan efisiensi konversi daya. Pengukuran efisiensi menggunakan lampu halogen dengan intensitas 10.000 lux.

**Tabel 1. Parameter penumbuhan struktur hetero CdTe/CdS:Zn**

Nama sampel	CdS				CdTe			
	Temp. substrat	Daya Plasma	Waktu growth	Tebal (nm)	Temp. substrat	Daya Plasma	Waktu growth	Tebal (nm)
HS#A (Zn=0%)	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	24 watt	180 menit	900
HS#B (Zn=5%)	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	24 watt	180 menit	900
HS#C (Zn=5%)	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	35 watt	180 menit	1000
HS#D (Zn=5%)	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	50 watt	180 menit	1100
HS#E (Zn=5%)	450 °C	24 watt	30 menit	100	450 °C	50 watt	180 menit <sup>*)</sup>	1100

\*) treatment dengan CdCl<sub>2</sub>



Gambar 1. Struktur hetero metal/CdTe/CdS:Zn/ITO/gelas

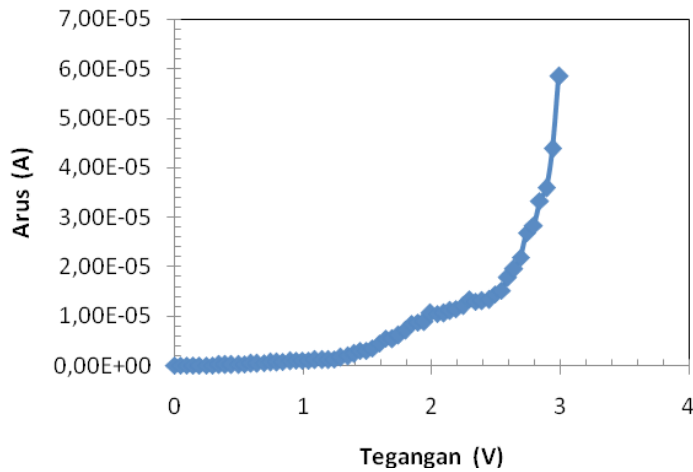
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengukuran I-V tanpa disinari

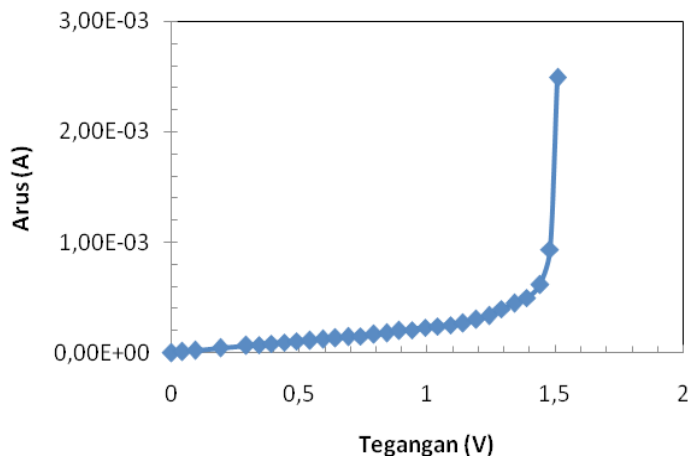
Hasil pengukuran I-V struktur-hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass tanpa penyinaran (*dark*) telah menunjukkan karakteristik *rectifying* seperti perilaku ideal diode persambungan p-n sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2a, Gambar 2b dan Gambar 2c. Ketika diberikan bias mundur besarnya arus rekombinasi juga nol. Fenomena *rectifying* menunjukkan terjadinya difusi muatan di daerah persambungan p-CdTe/n-CdS) sehingga membentuk penghalang (*barrier*) di daerah persambungan (daerah deplesi). Lebar daerah deplesi ini merupakan parameter yang ikut memberikan kontribusi performance dari sel surya. Analisis karakteristik pengukuran I-V pada kondisi tanpa penyinaran dapat memberikan informasi besarnya arus saturasi dan faktor ideal persambungan p-n (*the device ideality factor*). Ketika struktur hetero CdTe/CdS diberikan bias maju maka berlaku persamaan (Sze, 1981):

$$I = I_s \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right)$$

dengan  $I_s$  adalah arus saturasi,  $n$  adalah faktor ideal devise,  $k$  adalah konstanta Boltzman,  $q$  adalah muatan, dan  $T$  adalah temperatur. Besarnya arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi dapat ditentukan dengan menggunakan skala semilogaritmik hasil pengukuran I-V yang ditunjukkan pada Tabel 2.



**Gambar 2a.** Pengukuran I-V struktur hetero metal/CdTe/CdS/ITO (sampel HS#A) tanpa disinari.



**Gambar 2.b.** Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdSZn(5%)/ITO/gelas (sampel HS#D, ditumbuhkan dengan daya plasma 50 watt) tanpa disinari.

Gambar 2.c: Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdSZn(5%)/ITO/gelas (sampel #D, ditumbuhkan dengan daya plasma 50 watt) dan treatment  $\text{CdCl}_2$  ) tanpa disinari.

**Tabel 2.** Besarnya arus saturasi difusi, arus saturasi rekombinasi struktur hetero CdTe/CdS

Sampel	$I_s$ rekombinasi	$I_s$ difusi
HS#A	$1,0 \times 10^{-7}$ A	$3,0 \times 10^{-8}$ A
HS#B	$1,0 \times 10^{-5}$ A	$3,0 \times 10^{-4}$ A
HS#C	$1,0 \times 10^{-6}$ A	$1,0 \times 10^{-5}$ A
HS#D	$1,0 \times 10^{-10}$ A	$3,0 \times 10^{-6}$ A
HS#E	$9,0 \times 10^{-11}$ A	$1,0 \times 10^{-8}$ A

Struktur hetero yang ditumbuhkan dengan dc magnetron mempunyai nilai arus saturasi yang serupa dengan hasil eksperimen Lee (2011) yang menumbuhkan hetero-strukture CdTe/CdS dengan rf magnetron suttering. CdTe sebagai lapisan absorber yang ditumbuhkan pada daya lebih tinggi (50 watt, sampel HSD) menunjukkan nilai arus saturasi yang semakin rendah. Kondisi ini menunjukkan performan dari persambungan p-n menjadi lebih baik ketika film CdTe ditumbuhkan dengan daya yang lebih tinggi. Pada sampel HS#D tampak mempunyai arus saturasi rekombinasi pada orde  $10^{-10}$  A yang memberikan petunjuk akan mudah terjadinya generasi elektron ketika struktur hetero sel surya menerima foton atau disinari. Penumbuhan pada daya tinggi dengan dc magnetron sputtering menghasilkan ukuran grain yang lebih besar selain juga menambah laju penumbuhan film CdTe. Peningkatan performan dari struktur hetero ini akibat kontribusi dari semakin besarnya ukuran grain dan ketebalan CdTe. Untuk itu upaya optimasi performan dari struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass selanjutnya dapat dilakukan dengan berbagai cara yang dapat memperbesar ukuran grain dari CdTe sebagai lapisan absorber dan menambah ketebalan CdTe. Pada penelitian ini telah dilakukan dengan melakukan treatment  $CdCl_2$  yang menghasilkan ukuran grain CdTe yang lebih besar sehingga memperbaiki kualitas kristal material CdTe.

### Pengukuran I-V dengan penyinaran

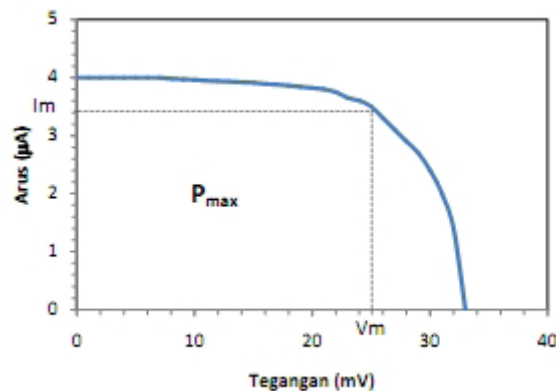
Pengukuran I-V pada struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass **pada kondisi disinari** dengan lampu halogen menghasilkan informasi besarnya tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) seperti ditunjukkan pada Tabel 3. Penambahan doping Zn pada CdS sebagai *window layer* menunjukkan peningkatan tegangan  $V_{oc}$  dan arus  $I_{sc}$  dibandingkan dengan tanpa doping. Penambahan doping Zn pada CdS telah memperlebar rentang spektrum sumber cahaya yang diterima sehingga menambah jumlah elektron yang mengalami generasi. Treatment  $CdCl_2$  juga telah meningkatkan tegangan  $V_{oc}$  dan arus  $I_{sc}$ . Kondisi ini sesuai dengan meningkatnya kualitas persambungan p-n ketika struktur hetero ditumbuhkan dengan daya lebih tinggi.

**Tabel 3. Besarnya tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO/glass**

Sampel	$V_{oc}$ (mV)	$I_{sc}$ ( $\mu$ A)
HS#A	11,2	2,1
HS#B	15,1	2,5
HS#C	20,2	2,8
HS#D	25,3	3,0
HS#E	32,9	4,0

## Pengukuran Efisiensi

Gambar 3 menunjukkan hasil pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO (sampel HS#E) dalam kondisi disinari lampu halogen dengan intensitas 10.000 lux. Dari hasil pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO tersebut dapat ditentukan besarnya tegangan maksimum ( $V_m$ ) dan arus maksimum ( $I_m$ ) yang dihasilkan oleh sel surya. Selanjutnya dapat dihitung besarnya *fill factor* (FF) dan efisiensi sel surya seperti dirangkum dalam Tabel 4.



**Gambar 3: Pengukuran I-V struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn(5%)/ITO (sampel HS#E) dalam kondisi disinari.**

**Tabel 4. Data tegangan  $V_{oc}$  dan arus  $I_c$ , tegangan maksimum ( $V_m$ ), arus maksimum ( $I_m$ ), *fill factor* (FF) dan efisiensi ( $\eta$ ) struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO**

Sampel	Daya plasma (watt)	$V_m$ (mV)	$I_m$ ( $\mu$ A)	FF	$\eta$ (%)
HS#A	24	8	1,7	0,58	0,002
HS#B	24	11	2,1	0,61	0,003
HS#C	35	16	2,2	0,62	0,005
HS#D	50	19	2,5	0,63	0,006
HS#E	50 <sup>*)</sup>	25	3,5	0,66	0,012

<sup>\*)</sup> dengan *treatment* CdCl<sub>2</sub>

Dari data pada Tabel 4 menunjukkan bahwa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn (5%) mempunyai performan yang lebih baik dari Ag/CdTe/CdS:Zn (sampel HS#A) dengan ditandainya nilai *fill factor* (FF) dan efisiensi konversi daya ( $\eta$ ) yang lebih besar. Penumbuhan struktur hetero dengan daya lebih tinggi dan *treatment* CdCl<sub>2</sub> juga telah meningkatkan nilai *fill factor* dan efisiensi konversi daya. Namun kalau ditinjau dari besarnya efisiensi konversi daya Ag/CdTe/CdS:Zn (5%) masih sangat rendah. Rendahnya efisiensi ini terlihat dari nilai tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan *arus short circuit* ( $I_{sc}$ ) yang memberikan petunjuk bahwa hambatan seri

( $R_s$ ) dari film yang ditumbuhkan masih sangat besar. Selain juga dapat dipengaruhi konsentrasi pembawa muatan elektron pada CdS dan hole pada CdTe yang belum optimal serta kualitas kontak saat pengukuran I-V.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Struktur hetero metal Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass telah difabrikasi dengan menggunakan reaktor dc magnetron sputtering (*home made*). Pengukuran I-V pada kondisi tanpa penyinaran (*dark*) menunjukkan bahwa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass mempunyai karakteristik ideal diode persambungan p-n. Arus saturasi difusi dan arus saturasi rekombinasi pada saat diberikan bias maju besarnya orde  $10^{-8} - 10^{-11}$  A. Karakteristik ini memenuhi persyaratan untuk dapat diaplikasikan pada sel surya.

### Saran

Penambahan doping Zn (5%) pada CdTe telah meningkatkan performa struktur hetero Ag/CdTe/CdS:Zn/ITO/glass. Penumbuhan struktur hetero dengan daya tinggi dan *treatment* dengan CdCl<sub>2</sub> telah meningkatkan performa sel surya karena ukuran grain yang bertambah besar. Tegangan *open circuit* ( $V_{oc}$ ) dan arus *short circuit* ( $I_{sc}$ ) masih sangat rendah menunjukkan bahwa hambatan seri ( $R_s$ ) dari material struktur hetero masih rendah yang menyebabkan efisiensi konversi sangat rendah. Upaya optimasi perlu dilakukan seperti memperbaiki kualitas kristal CdTe dan kualitas kontak saat pengukuran I-V.

## DAFTAR PUSTAKA

- Crossy, A., Buecheler, S., Kranz, L., Perrenoud, J., Fella, C.M., Romanyuk, Y.E., Tiwari, A.N., 2012, Spray-deposition Al-doped ZnO transparent contacts for CdTe solar cells. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 101, 262-269.
- El Char, L., Lamont, L.A., El Zein, N., 2111, *Review of photovoltaic technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 2165-2175
- Gupta, A., Compaan, A.D., 2004, All-sputtered 14% CdS/CdTe thin-film solar cell with ZnO:Al transparent conducting oxide, *Applied Physics Letters* 85, 684-686.
- Lee, J., 2011, Effect of heat treatment of vacuum evaporated CdCl<sub>2</sub> layer on the properties of CdS/CdTe solar cells, *Current Applied Physics* 11, S103-S108
- Linam, D.L., Singh, V.P., McClure, J.C., Lush, G.B., Mathew, X., Sebastian, P.J., 2001, Light and voltage dependence of junction transport properties of CdTe/CdS photovoltaics, *Solar Energy Material & Solar Cell* 70, 335 – 344.
- Perrenoud, J., Kranz, L., Buecheler, S., Pianezzi, F., Tiwari, A.N., 2011, The use of aluminium doped ZnO as transparent conducting oxide for CdS/CdTe solar cells, *Thin Solid Films* 519, 7444-7448.