

Back-contact Dye-sensitized solar cells menggunakan titanium sheet dengan lubang micro sebagai elektroda kerja

Azwar Hayat^{1,*}, Mukhtar Rahman¹, Shyam S. Pandey² dan Shuzi Hayase²

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia

²LSSE, Kyushu Institute of Technology, Jepang

*azwar.hayat@unhas.ac.id

Abstrak

Energi surya adalah salah satu bentuk energi paling melimpah yang dapat dimanfaatkan secara cuma-cuma. Sel Surya Silikon telah terbukti mampu menghasilkan efisiensi yang tinggi sampai 25%. Akan tetapi, tingginya energi yang dibutuhkan dalam proses produksi dan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk membayar investasi ini membuat energi surya masih sangat sulit untuk menggantikan energi fosil. Salah satu alternatif sel surya yang murah adalah *Dye-sensitized solar cell* (DSSC). DSSC menggunakan bahan yang melimpah dan berharga murah dalam proses produksinya. Untuk memasuki tahap komersialisasi ada dua opsi yang dapat dilakukan yaitu efisiensi DSSC perlu ditingkatkan atau ongkos produksi perlu ditekan seminimal mungkin. Modifikasi struktur adalah hal yang umum dilakukan oleh peneliti untuk meningkatkan performa dan menurunkan biaya. Modifikasi struktur dilakukan untuk mengganti bagian-bagian sel surya yang mahal dengan material yang lebih murah. *Transparent conducting Oxide* (TCO) adalah material yang mengambil porsi 24% dari total biaya produksi DSSC. Selain itu, sifat TCO yang kaku membatasi aplikasi DSSC hanya pada permukaan yang rata. Pada penelitian ini peneliti berhasil mengganti material TCO dengan titanium *sheet* sebagai elektroda kerja. Titanium *sheet* dengan lubang mikro (TS-LM) telah digunakan untuk memproduksi *Back-contact dye-sensitized solar cells* (BC-DSSC). TS-LM membuat proses pembuatan sel surya lebih mudah dan murah dibandingkan DSSC yang telah dilaporkan sebelumnya. Efisiensi akhir yang mampu diperoleh adalah 4.37 % dibawah simulasi sinar matahari.

Kata kunci : Dye-sensitized solar cell, Titanium *sheet*.

Pendahuluan

Dye sensitized solar cells (DSSC) pertama kali mendapat perhatian serius sebagai alternatif sel surya selain silikon pada tahun 1991 saat Prof. Gratzel pertama kali melaporkan DSSC yang memiliki susunan struktur yang sederhana dengan biaya produksi rendah[1]. Dua dekade setelahnya perkembangan DSSC telah menghasilkan capaian yang luar biasa dalam hal optimasi dan proses sehingga mencapai hasil efisiensi > 12%[2].

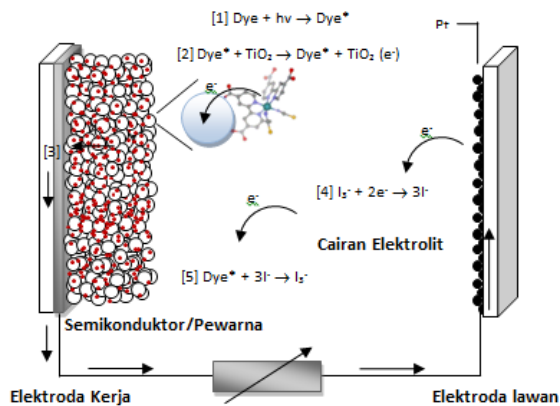
DSSC bekerja dengan prinsip dasar mengkonversi energi cahaya berupa photon menjadi listrik. DSSC konvensional memiliki struktur berlapis yang terdiri atas elektroda kerja/semikonduktor/pewarna (*dye*)/elektrolit /elektroda lawan seperti pada gambar 1. DSSC menggunakan pewarna sebagai penyerap cahaya seperti pada proses fotosintesis tumbuhan. Zat warna yang menyerap photon akan tereksitasi ketinggian energi lebih tinggi dan akan membutuhkan waktu relaksasi ke kondisi semula. Pewarna tereksitasi ini (*Dye**)

akan mencari jalan tercepat untuk stabil sehingga injeksi elektron terjadi pada pita konduksi semikonduktor TiO₂. Elektron akan bergerak pada elektroda kerja menuju elektroda lawan melalui beban luar. Elektroda lawan umumnya menggunakan Platinum (Pt) atau Karbon (C) sebagai alternatif yang lebih murah. Cairan elektrolit yang mengandung pasangan redox Iodine/Tridide akan mengantarkan elektron dari elektroda lawan ke *hole* pada *dye* yang telah tereksitasi sebelumnya. Proses kerja ini akan terus berkelanjutan selama DSSC mendapat penyaluran cahaya.

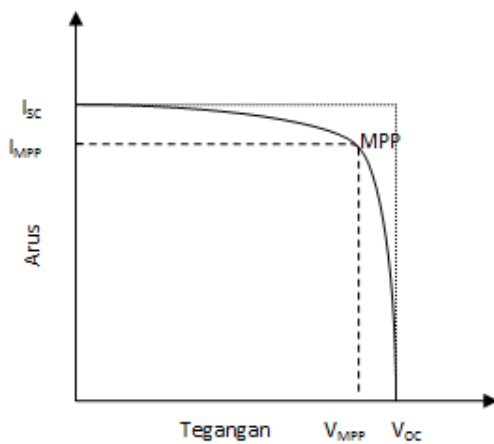
Performa sel surya ditunjukkan dengan grafik I-V (gambar 2) yang mengukur kemampuan sel untuk mengantarkan tegangan pada beban luar dan arus pada beban pada saat yang sama. Arus short circuit, I_{sc}, diperoleh dibawah penyaluran adalah tegangan maksimum. Sedangkan saat Tegangan open circuit (V_{oc}) maksimum, tidak ada arus yang mengalir. Titik dimana arus dan tegangan

maksimum disebut maximum power point (MPP).

$$\eta = \frac{P_{MAX}}{P_{light}} \quad (3)$$



Gambar 1. Struktur DSSC



Gambar 2. Kurva I-V

Parameter penting lainnya adalah *fill factor* (FF) yang dapat ditulis dengan persamaan 1 berikut.

$$FF = \frac{V_{MPP} \cdot I_{MPP}}{V_{OC} \cdot I_{SC}} \quad (1)$$

Menggunakan *fill factor*, daya maksimum (P_{MAX}) dapat dituliskan sebagai berikut,

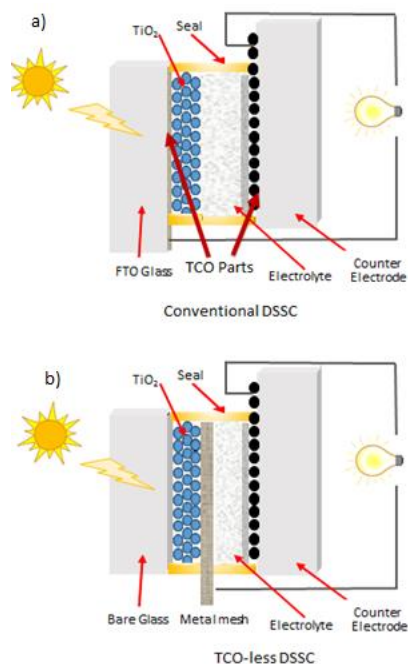
$$P_{MAX} = V_{OC} \cdot I_{SC} \cdot FF \quad (2)$$

Dengan kurva I-V standarisasi DSSC dapat dilakukan dengan membandingkan V_{oc} , I_{sc} dan *fill factor*. Efisiensi diukur dari perbandingan daya maksimum (P_{MAX}) dan daya penyinaran untuk area tertentu (P_{light}) dan dapat ditulis seperti persamaan 3 dibawah ini.

Kedua elektroda pada DSSC dibuat diatas kaca konduktif berupa kaca berlapis TCO (*transparent conductive oxide*). Material kaca konduktif yang digunakan pada elektroda kerja dan elektroda tahanan perlu diganti dengan material yang lebih fleksibel dan lebih murah untuk aplikasi yang lebih luas seperti sel surya fleksibel dan sel surya silinder. Kaca konduktif ini merupakan komponen termahal yang menyumbang 24% dari total produksi DSSC[3]. *Fluorine doped tin oxide* (FTO) yang dilapisi pada kaca adalah material TCO yang paling umum digunakan dalam proses pabrikan DSSC. Beberapa penelitian telah dilakukan dengan mengganti kaca konduktif TCO dengan TCO berbasis polimer[4]. Akan tetapi, Photo anoda semikonduktor yang digunakan untuk DSSC, Titanium dioxide (TiO_2), membutuhkan proses pembakaran sampai $450^\circ C$, yang membuat TCO berbasis polimer menjadi tidak stabil. Proses temperature rendah juga telah secara intensif diteliti seperti *low temperature sintering*[5], *hydrothermal treatment*[6], *chemical vapor deposition with UV irradiation*[7], *spray coating*[8]. Akan tetapi, lemahnya ikatan (*interconnection*) antar partikel TiO_2 oleh proses temperature rendah tersebut menghasilkan efisiensi yang lebih rendah dari proses temperatur tinggi.

Struktur *Back-contact* dengan material metal adalah kandidat yang kuat untuk menggantikan TCO pada DSSC[9,10]. Perbedaan mendasar antara struktur konvensional DSSC dan *TCO-less Back-contact* DSSC terlihat pada gambar 3. Titanium adalah kandidat terbaik diantara material metal yang lain untuk aplikasi *TCO-less* DSSC. Titanium memiliki karakteristik yang kuat, ringan, tidak reaktif terhadap elektrolit, membuat titanium mudah untuk diaplikasikan ke berbagai jenis struktur DSSC. Prof. Fan telah melaporkan *TCO-less* DSSC menggunakan kawat titanium diameter 150 μm dengan efisiensi total 1.49%[11]. Prof. Hayase melaporkan *TCO-less* DSSC dengan mengganti FTO pada sisi anoda dengan *Stainless Steel mesh* berlapis titanium

(Ti/SUS) berfungsi sebagai penyokong *mesoporous* TiO_2 dan sebagai *metal grid* penyalur elektron dari sisi belakang. SUS *mesh* tersebut membutuhkan lapisan titanium dengan proses *sputtering* untuk melindungi permukaan dan mencegah rekombinasi ekelektron antara elektron pada elektroda metal dan elektron pada redox elektrolit untuk meningkatkan efisiensi *photo-conversion*[12].



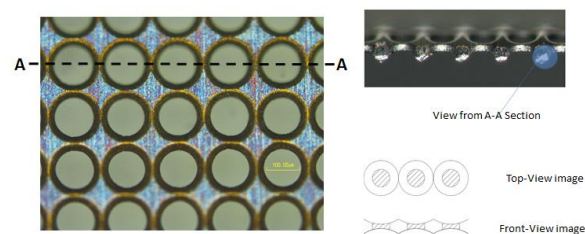
Gambar 3. Perbandingan antara konvensional DSSC dan *TCO-less* DSSC.

Pada penelitian ini digunakan Titanium *sheet* dengan lubang mikro (TS-LM) sebagai *metal grid* sebagai alternatif SUS *mesh* dan menghilangkan penggunaan TCO pada sisi elektroda kerja.

Metodologi

Material. TS-LM yang digunakan untuk penelitian ini adalah contoh produk dari Ushio Inc. Japan yang memiliki ketebalan 40 μm dibandingkan dengan Ti Wire Mesh yang dijual bebas dengan ketebalan mencapai 150 μm . TS-LM memiliki lubang-lubang mikro berdiameter 100 μm yang berfungsi sebagai jalur lintas elektrolit seperti pada gambar 4. Titanium dioxide yang digunakan adalah PST-30NRD dari Catalysts and Chemical Ltd Japan. Pewarna yang dipakai adalah Ruthenizer 535-bis TBA (OPV-N719; Ditetrabutylammoniumcis-bis(isothiocyanato) bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato) rutheni-

um(II)) dari OPV Tech. Komposisi elektrolit yang digunakan adalah 0.05 M Iodine (I_2), 0.1 M Lithium Iodine (LiI), 0.5 M tert-BuPyridine dan 0.6 M 1,2-dimethyl-3-propylimidazolium iodine. Elektroda lawan menggunakan platinum (Pt). Gambar Permukaan Mesh diambil dengan Olympus BX60. *Photo-conversion efficiency* (PCE) diukur dengan Bunko-Keiki Co. Ltd., Model Solar Simulator CEP-2000SRR dengan *metal mask* untuk menghindari refleksi pada kaca.



Gambar 4. Titanium *Sheet* dengan lubang mikro (TS-LM).

Pembuatan Sel Surya. TS-LM dicuci menggunakan *ultrasonic bath* dengan *distilled water*, isopropanol dan acetone berurutan dengan waktu 15 menit tiap prosesnya. Setelah dikeringkan dengan *blower*, TS-LM dilapisi dengan PST-30NRD menggunakan metode *doctor blading* yang dilanjutkan dengan pemanasan pada suhu 450°C dengan waktu tahan 30 menit untuk menghasilkan fasa anatase pada TiO_2 . Setelah temperatur turun sekitar 80°C elektroda direndam pada larutan pewarna N719 dengan pelarut etanol selama 24 jam untuk melekatkan pewarna pada permukaan semikonduktor. Setelah perendaman selesai, dicuci dengan etanol untuk menghilangkan sisa pewarna yang tidak melekat sempurna. Komponen Sel surya DSSC selanjutnya disusun dengan urutan kaca/ TiO_2 +*dye*/TS-LM/elektroda lawan (gambar 3.b). Elektrolit disuntikkan diantara TS-LM dan elektroda lawan dan ditutup dengan UV-sealant untuk mencegah kebocoran.

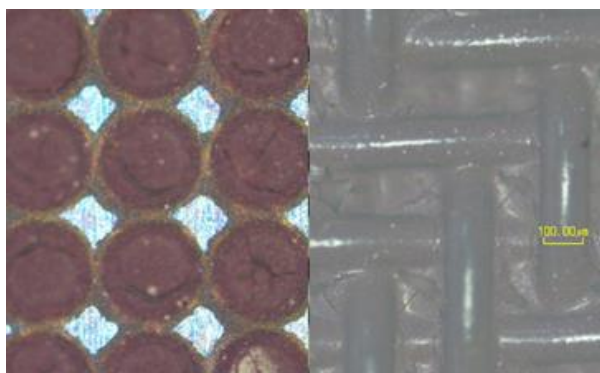
Hasil dan Pembahasan

TS-LM vs Ti Wire Mesh. Untuk melihat performa *TCO-less* BC-DSSC dengan TS-LM, dibuat pula *TCO-less* BC-DSSC dengan Ti Wire Mesh (Ti-WM) yang dijual umum sebagai pembanding. Performa kedua sel surya ini dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 5. Sel dengan Ti-WM memiliki performa Efisiensi 0.38%, FF 0.44, Voc 0.43 V, Isc 2.01 mA/cm². Sedangkan Sel dengan TS-LM memiliki performa Efisiensi 4.26%, FF 0.70, Voc 0.71 V, Isc 8.55 mA/cm².

Tabel 1. Perbandingan sel performa antara TS-LM dan Ti-WM

	Ti-WM	TS-LM
Efisiensi [%]	0.38	4.26
FF	0.44	0.70
Voc [V]	0.43	0.71
Isc [mA/cm ²]	2.01	8.55
Area [cm ²]	0.2025	0.2025

Hasil yang sangat timpang ini dapat dijelaskan dari gambar 5 yang menunjukkan luas permukaan yang tertutup oleh TiO₂ dan *dye*. TS-LM memiliki permukaan yang lebih luas tertutup oleh TiO₂ dan *dye* jika dibanding dengan Ti-WM. Retak permukaan TiO₂ pada TS-LM cenderung lebih kecil dibandingkan pada Ti-WM sehingga transfer elektron dari elektroda ke *metal grid* menjadi lebih optimal yang berujung pada Isc yang lebih baik.



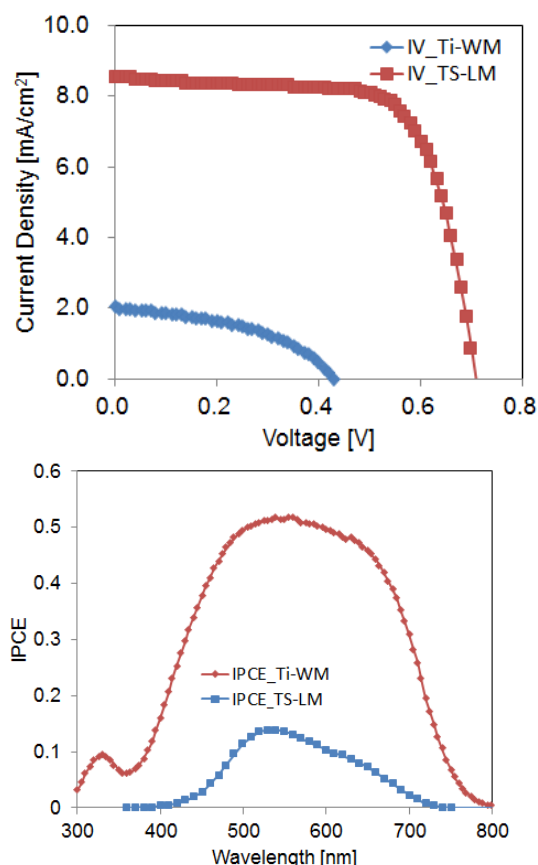
TS-LM/TiO₂/Dye

Ti-WM/TiO₂/Dye

Gambar 4. Perbandingan permukaan TL-LM dan Ti-WM yang terlapis TiO₂ dan *dye*.

Faktor lain yang menyebabkan rendahnya efisiensi Ti-WM adalah ketebalannya yang mencapai 150 μm sedangkan kemampuan difusi elektrolit hanya berkisar 50 μm saja.

Kemampuan difusi ini juga akan mempengaruhi injeksi elektron pada sel surya. Luasnya bagian metal yang tidak tertutup dengan TiO₂ dan *dye* pada Ti-WM meningkatkan peluang rekombinasi elektron dari elektrolit menuju metal *grid* tanpa melalui beban luar. Tingginya rekombinasi ini akan berdampak pada menurunnya tegangan *open circuit* (Voc) pada DSSC.



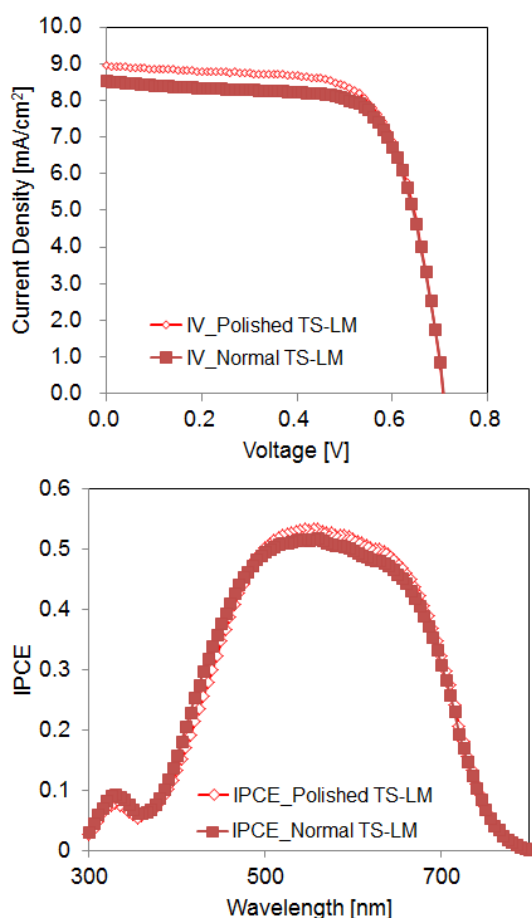
Gambar 5. I-V Karakteristik dan IPCE TS-LM dan Ti-WM.

Surface Polishing. TS-LM yang telah dicuci menggunakan *distilled water*, isopropanol dan acetone diamati dibawah mikroskop optik menunjukkan permukaan yang belum sepenuhnya seragam, hal ini mungkin terkait pada proses produksi dari TS-LM tersebut.

Tabel 2. Performa sel surya TS-LM *Polished*

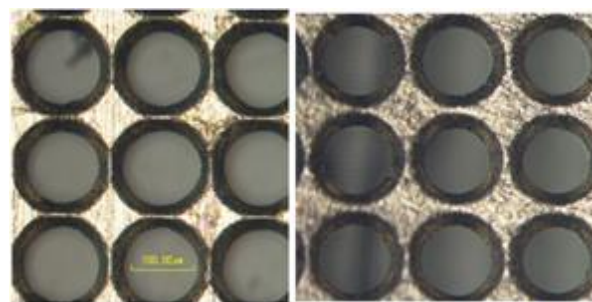
	<i>Polished</i>
Efisiensi [%]	4.37
FF	0.69
Voc [V]	0.71
Isc [mA/cm ²]	8.94
Area [cm ²]	0.2025

Untuk membentuk permukaan yang seragam maka dilakukan *surface polishing*. Permukaan TS-LM dipolish secara manual dengan amplas halus untuk menghilangkan kotoran pada permukaan TS-LM (gambar 7). Performa sel surya dengan TS-LM *Polished* dapat dilihat pada tabel 2 dan Gambar 6 dengan performa Efisiensi 4.37%, FF 0.69, Voc 0.71 V, Isc 8.94 mA/cm². Sedangkan Sel normal memiliki performa Efisiensi 4.26%, FF 0.70, Voc 0.71 V, Isc 8.55 mA/cm² (pada tabel 1).



Gambar 6. I-V Karakteristik dan IPCE *Polished* dan Normal TS-LM

Meningkatnya kontak permukaan antara TiO₂ dan TS-LM dari proses *polishing* juga meningkatkan jumlah injeksi elektron dari TiO₂ ke *metal grid* hal ini meningkatkan Isc sekitar 0.4%. Sedangkan Voc tetap konstan menunjukkan *polishing* tidak mempengaruhi rekombinasi pada sistem. *Polishing* ini juga akan menghilangkan oksida-oksida pada permukaan titanium yang akan meningkatkan performa sel surya.



Gambar 7. *Polished* TS-LM dan Normal TS-LM

Kesimpulan

DSSC telah sukses dipabrikasi dengan menggantikan material TCO pada elektroda kerja dengan titanium *sheet* dengan lubang mikro (TS-LM). Efisiensi tertinggi sebesar 4.37% diperoleh dengan melakukan *surface polishing* untuk menghilangkan oksida pada permukaan titanium dan memperluas kontak antara elektroda dan TiO₂. Penelitian lanjutan diharapkan akan dilakukan untuk mengoptimalkan penyerapan pewarna pada daerah 350-450 nm dengan menambahkan *co-sensitizer*.

Referensi

- [1] B. O'Reagan, M. Grätzel, Nature, 353, 737 (1991)
- [2] S. Mathew, A. Yella, P. Gao, R.H.-Baker, B.F.E. Curchod, N.A.-Astani, I. Tavernelli, U. Rothlisberger, Md.K. Nazeeruddin and M. Grätzel, Nature Chemistry, 6, 242–247 (2014)
- [3] J.M. Kroon, N.J. Bakker, H.J.P. Smit, P. Liska, K.R. Thampi, P. Wang, S.M. Zakeeruddin, M. Grätzel, A. Hinsch, S. Hore, U. Würfel, R. Sastrawan, J.R. Durrant, E. Palomares, H. Pettersson, T. Gruszecki, J. Walter, K. Skupien and G. E. Tulloch, Prog. Photovolt: Res. Appl., 15, 1–18 (2007)
- [4] A.F. Nogueira, C. Longo and M.-A. De Paoli, Coordination Chemistry Reviews, 248, 13–14, 1455–1468 (2004)
- [5] C. Longo, A. F. Nogueira, M. A. De Paoli and H. Cachet, J. Phys.Chem. B, 106, 5925 (2002)
- [6] J. Nemoto, M. Sakata, T. Hoshi, H. Ueno and M. Kaneko, J. of Electroanalytical Chemistry, 599, 23–30 (2007)

- [7] T. N. Murakami, Y. Kijitori, N. Kawashima and T. Miyasaka, Chem.Lett., 1076, (2003)
- [8] S. Uchida, M. Tomiha, H. Takizawa and M. Kawaraya, J. Photochem.Photobiol., A, 164, 93, (2004)
- [9] N. Fuke, A. Fukui, A. Islam, R. Komiya, R. Yamanaka, L. Huan and H. Harima, Journal of Applied Physics, 104, 064307 (2008).
- [10] X. Huang, P. Shen, B. Zhao, X. Feng, S. Jiang, H. Chen, H. Li and S. Tan, Solar Energy Materials & Solar Cells, 94, 1005-1010 (2010).
- [11] X. Fan, F. Wang, Z. Chu, L. Chen, C. Zhang, and D. Zou. Applied Physics Letters, 90, 073501 (2007).
- [12] Md.Z. Molla, N. Mizukoshi, H. Furukawa, Y. Ogomi, S.S. Pandey, T. Ma and S. Hayase, Prog. Photovolt: Res. Appl. (2014)