

## Nanoteknologi Dalam Pemodelan Level Energi Diskret Sel Surya Kuantum Dot Dengan Menggunakan Divais Efek Kuantum

Ego Srivajawaty S<sup>1</sup>, Hubertus Ngaderman<sup>2</sup>

1.Fisika, MIPA, Universitas Cenderawasih, Waena, Jayapura, 99351, Indonesia

2.Universitas Cenderawasih, Waena, Jayapura, 99351, Indonesia

E-mail: srivajawati@ymail.com

E-mail: ngadermanh@gmail.com

### Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan pemodelan SS nanostruktur dengan menghitung level energi elektron pada pita konduksi. Divais fotovoltaik nanoyaitu kuantum dot KD dan kuantum well KW mengerjakan jangkauan lebar transisi elektron dimana bisa dikontrol oleh distribusi jangkauan luas yang sesuai ukuran KD. KD memberikan kemampuan menyerap cahaya dimana menciptakan pasangan elektron hole yang terlokasi didalam dot. Transisi elektron didalam KD secara berarti melampaui energi termal dan tidak bisa diinduksi oleh fonon termal sementara transisi hole secara mudah diinduksi oleh fonon akustik termal. Konsep dan komputasi untuk menghitung level energi, konsep yang digunakan adalah DEK. Ketebalan well  $L_w$  adalah cukup kecil (10nm atau kurang), set level energi diskret akan ada didalam well dan mempunyai pergantungan pada massa efektif dan ketebalan well yaitu  $E_n$  meningkat dengan pengurangan  $W$ , atau  $L_w$ . Energi maksimum  $E_{\pm} = 3,77 \times 10^4 eV$  pada ketebalan lapisan  $L_w = 0,1 nm$ . Energi maksimum  $E_2 = 1,51 \times 10^5 eV$  pada  $L_w = 0,1 nm$ .  $\Delta E$  adalah selisih besar energi di titik awal 0,1 nm adalah  $1,13 \times 10^5 eV$  dan di ketebalan akhir pada KW yaitu 10nm adalah  $1,13 \times 10^1 eV$ . Oleh karena itu transisi elektron didalam KW secara berarti melampaui energi termal dan tidak bisa diinduksi oleh fonon termal.

Kata kunci: nanoteknologi; kuantum dot bermuatan

### Abstract

[Title: Theory, computation and modeling] The purposes of this research is to the find out the modeling nanostructure solar cell SC with counted in electron energy level on the conduction band. Divais photovoltaic nano i.e quantum dot QD and quantum well QW performing wide range transition of electron which can be controlled by the distribution range area suitably of the size dimension QD. QD gives ability absorbance of the lighth where created electron hole coupling which located in the dot. Transition electron in the QD be significant exceed thermal energy and cannot inducted by the fonon thermally while transition hole be simply inducted by the phonon acoustik thermal. Method of this research are concept and computation for accounting energy level. The concept which be used is DEK. The thickness well  $L_w$  is small enough (10nm or less), the set of level energy discret will be in the well and have hinges at the effective mass and the well thickness i.e  $E_n$  rising with reduction  $m^*$  or  $L_w$ . Maximum energy  $E_1 = 3,77 \times 10^4 eV$  at the thickness layer  $L_w = 0,1nm$ . Maximum energy  $E_2 = 1,51 \times 10^5 eV$  at the  $L_w = 0,1nm$ .  $\Delta E$  is difference magnitude energy in the starting point 0,1nm i.e  $1,13 \times 10^5 eV$  and in the last thickness QW i.e 10nm is  $1,13 \times 10^1 eV$ . Maximum energy  $E_3 = 3,39 \times 10^5 eV$  at the thickness layer  $L_w = 0,1nm$ .  $\Delta E$  difference magnitude energy  $E_3$  and  $E_2$ . The difference for first thickness layer in the starting point 0,1nm i.e  $1,88 \times 10^5 eV$  and in the last thickness QW i.e 10nm is  $1,13 \times 10^1 eV$ . Therefore transition electron in the QW be significantly exceed thermal energy and cannot inducted by the phonon thermal.

Keywords: nanotechnology; quantum dot charge

### PENDAHULUAN

Nanoteknologi adalah kontrol materi pada dimensi 1 sampai 100 nanometer, dimana fenomena unik memungkinkan aplikasi terbaru mencakup sains dan teknologi yang melibatkan *imaging*, *pengukuran*, *modeling* dan *manipulasi* materi pada skala ini. Ia bukan sesuatu yang baru dan terpisahkan dengan alam, partikel emas skala nano menciptakan

corak warna berbeda ditemukan di abad pertengahan. Partikel emas mempertunjukkan sebuah bentuk yang berbeda warna bergantung pada ukuran pada skala nano. Materi pada skala atomik berkelakuan sangat berbeda daripada materi pada saat skala makroskopik. Juga kemampuan untuk membangun materi baru pada suatu saat membuka kemungkinan baru ke depan yang dikembangkan menggunakan proses kimia tradisional.

Kemampuan struktur pita, mempertinggi multiplikasi carrier dan nano-plasmonik untuk perbaikan efisiensi SS. Nanoteknologi menyediakan banyak kemungkinan dalam merekayasa maupun memanipulasi, kekurangannya adalah mempertinggi proses rekombinasi maka mengurangi waktu tempuh fotopembawa. Waktu tempuh adalah besaran yang sensitif, menurunkan ia maka efisiensinya menjadi rendah. Sel dengan impuritas diharapkan mempunyai efisiensi 77%, tetapi malah mempertinggi rekombinasi dan memperburuk performansi. Rekombinasi yang hilang karena hal tersebut adalah masalah jangka panjang tanpa keberhasilan yang nyata didalam investigasi. SS nanostruktur telah diteliti secara intensif selama dekade terakhir, intermediate dibentuk dari level kuantum dot (KD) atau well diskret karena penerowongan kuat kopeling diantara KD. Pembuatan KD secara khas didalam ukuran antara 5 dan 50 nm, ditetapkan oleh lithografi gerbang elektroda atau oleh pengetsaan pada dua dimensi gas elektron didalam semikonduktor heterostruktur yang bisa mempunyai dimensi lateral antara 20 dan 100 nm. KD kadang-kadang terjadi secara spontan didalam struktur kuantum well menyebabkan fluktuasi monolapisan didalam ketebalan well. Teori bisa memberikan efisiensi maksimum ~65% tetapi eksperimen menunjukkan kenaikannya tidak melampaui beberapa persen oleh karena KD.

Analisis teoritis dan modeling akan dilakukan didalam menghitung level energi elektron didalam pita konduksi. Model yang digunakan untuk memahami mekanisme kerja SS nanostruktur adalah Divais Efek Kuantum (DEK). Untuk ketebalan kuantum well atau dot direkayasa didalam bentuk yang bersesuaian dengan eksperimen. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan pemodelan SS nanostruktur dengan menghitung level energi elektron yang terjadi pada pita konduksi.

## LANDASAN TEORI

Batasan teknologi pita intermediate SS berasal dari akumulasi stres ketika lapisan KD ditempatkan berdekatan untuk memberikan level elektron kopeling, stres meningkatkan rekombinasi. Contoh yang lain adalah multiplikasi pembawa lewat pengaruh ionisasi yang kuat (proses inversi tipe Auger), ia meningkatkan banyaknya fotopembawa dan memperbaiki efisiensi, dicapai lewat interaksi elektron—elektron dan menghendaki konsentrasi

pembawa yang relatif tinggi. Kondisi ini bisa dicapai didalam kungkungan nanoblok (KD). Eksiton energi tinggi tercipta oleh foton dan meluruh menjadi energinya rendah, hasilnya beberapa eksiton dibentuk oleh foton terserap itu. Efek ini kuat didalam nanomaterial dengan nilai pita gap rendah dan secara intensif terjadi didalam SS nanostruktur.

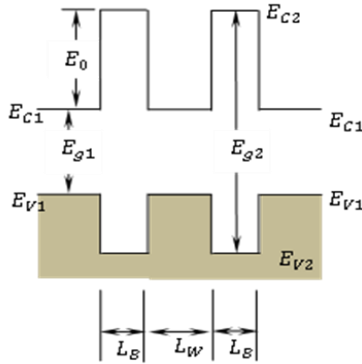
Kuantum Dot Bermuatan (KDB) bisa secara acak didistribusikan didalam lapisan KD tanpa korelasi antara lapisan KD didalam arah aliran yang menjangkau beberapa lapisan KD, KDB meliputi 3—7 KD. KD dengan pendekatan muatan built-in tidak menghendaki interdot kopel yang mana mengurangi batasan beban pada desain dan fabrikasi intermediate pita SS. Lebih dari itu untuk konversi jalur lebar, divais fotovoltaiik KD akan mengerjakan jangkauan yang lebar dari transisi elektron dimana bisa dikontrol oleh distribusi jangkauan luas yang sesuai dengan ukuran KD. Baik dimengerti bahwa KD memberikan kemampuan menyerap IR dimana menciptakan pasangan elektron hole yang terlokasi didalam dot. Sablon et al mengusulkan peninggian ekstraksi perangkat fotopembawa oleh KD n-bermuatan. Efektif ekstraksi KD n-bermuatan dicapai maka menyebabkan asimetri yang kuat dari level elektron dan hole didalam KD. Struktur level didalam InAs/GaAs KD telah diinvestigasi didalam banyak pengukuran fotoluminesensi dimana menunjukkan level posisi elektron dan hole yang secara praktis sama jauh. Level total spasi,  $AE = AE_e + AE_h$  terhitung menjadi 60—80 meV. Rasio  $AE_e/AE_h$  dievaluasi oleh Steer et al secara tidak langsung dan berganti dari 2 ke 8 dari satu kerja ke yang lainnya. Didalam model ini rasio spasi  $AE_e/AE_h$  diberikan oleh  $(m_h/m_e)^{1/24}$  dimana adalah didalam persetujuan dengan jangkauan dari hasil-hasil eksperimental. Menggunakan model ini  $AE_e = 55meV$  dan  $AE_h = 14meV$  dicapai. Oleh karena itu transisi elektron didalam KD secara berarti melampaui energi termal dan tidak bisa diinduksi oleh fonon termal sementara transisi hole secara mudah diinduksi oleh fonon akustik termal.

## METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini menggunakan konsep dan komputasi untuk menghitung level energi. Konsep yang digunakan adalah Divais Efek Kuantum (DEK), ia adalah divais dasar yang menggambarkan SS nanostruktur. DEK menggunakan penerowongan mekanika kuantum untuk memberikan kontrol

transpor pembawa, ketebalan lapisan aktifnya adalah sangat kecil pada orde 10nm. Dasar dari DEK adalah Penerowongan Dioda Resonansi (PDR).

Gambar 1 menunjukkan diagram pita dari DEK, dia mempunyai struktur dubel barrier semikonduktor yang berisi dua heterojunction dan satu kuantum well, InAs/GaAs/InAs. Terdapat tiga parameter divais yang penting untuk PDR — tinggi energi barrier  $E_0$  dimana adalah diskontinuitas pita konduksi, ketebalan energi barrier  $L_B$  dan ketebalan kuantum well  $L_w$ . Jika ketebalan well  $L_w$  adalah cukup kecil (pada orde 10nm atau kurang), set level energi diskret akan ada didalam well ( $E_1, E_2, E_3$  dan  $E_4$ ). Jika ketebalan barrier adalah begitu kecil, penerowongan resonansi akan terjadi. Ketika elektron datang mempunyai energi  $E$  yang secara pasti sama dengan level energi diskret didalam well dia akan menerobos melalui dubel barrier dengan kesatuan 100% koefisien transmisi.



Gambar 1. Diagram pita dari Divais Efek Kuantum (DEK).

Koefisien transmisi berkurang secara cepat sebagai penyimpangan level energi diskret. Sebagai contoh elektron dengan energi 10meV lebih tinggi atau lebih rendah daripada level  $E_1$  akan ada  $10^5$  kali penurunan didalam koefisien transmisi. Koefisien transmisi bisa dihitung dengan penyelesaian persamaan Schroedinger satu dimensi didalam tiga daerah (I, II, III). Oleh karena fungsi gelombang dan derivatif pertama mereka pada masing-masing diskontinuitas potensial harus kontinu, kita bisa mendapatkan koefisien transmisi  $T_t$ .

Persamaan Schroedinger untuk elektron didalam suatu wilayah dapat ditulis

$$-\frac{\hbar^2}{2m_i^*} \left( \frac{d^2 \psi_i}{dx^2} \right) + V_i \psi_i = E \psi_i \quad i = 1,2,3$$

dimana  $\hbar$  konstanta Planck tereduksi,  $m_i^*$  massa efektif didalam daerah  $i$ ,  $E$  energi datang dan  $V_i$  adalah potensial energi dan  $\psi_i$  fungsi gelombang didalam daerah  $i$  berturut-turut. Fungsi gelombang  $\psi_i$  bisa dinyatakan sebagai

$$\psi_i(x) = A_i \exp(jk_i x) + B_i \exp(-jk_i x)$$

dimana  $A_i$  dan  $B_i$  adalah konstanta-konstanta ditentukan dari kondisi bidang batas dan

$$k_i = \sqrt{2m_i^*(E - V_i)}/\hbar$$

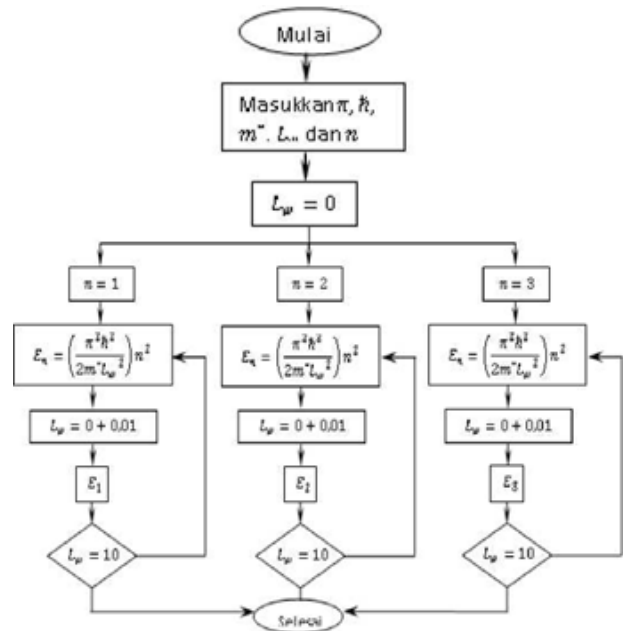
Oleh karena fungsi gelombang dan derivatif pertama mereka adalah

$$\frac{\psi_i}{m_i^*} = \frac{\psi_{i+1}}{m_{i+1}^*}$$

Seperti estimasi orde pertama dari level energi, kita bisa menggunakan kuantum well dengan ketinggian barrier tak hingga:

$$E_n = \left( \frac{\pi^2 \hbar^2}{2m^* L_w^2} \right) n^2.$$

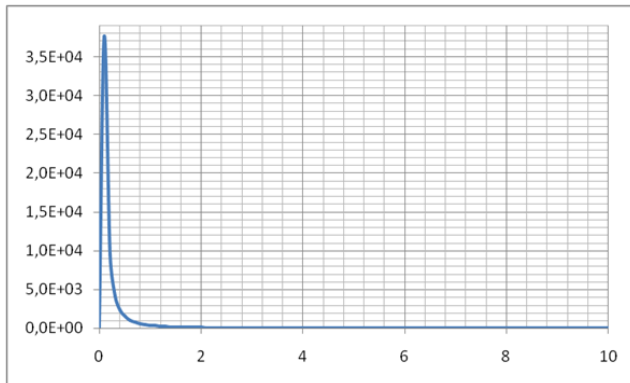
Untuk sebuah struktur barrier dubel dengan ketinggian barrier terbatas dan lebar, level energi akan lebih rendah, bagaimanapun juga, dia akan mempunyai pergantungan yang serupa pada massa efektif dan ketebalan well yaitu  $E_n$  meningkat dengan pengurangan  $m^*$  atau  $L_w$ . Diagram alir untuk melakukan penelitian ini adalah



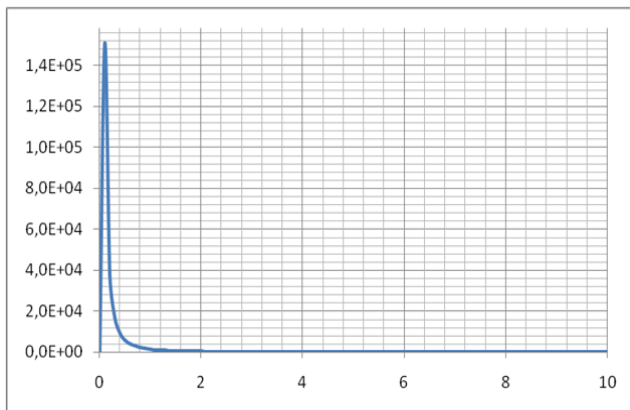
Gambar 2. Diagram alir untuk menghitung energi diskret pada ketebalan kuantum well.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

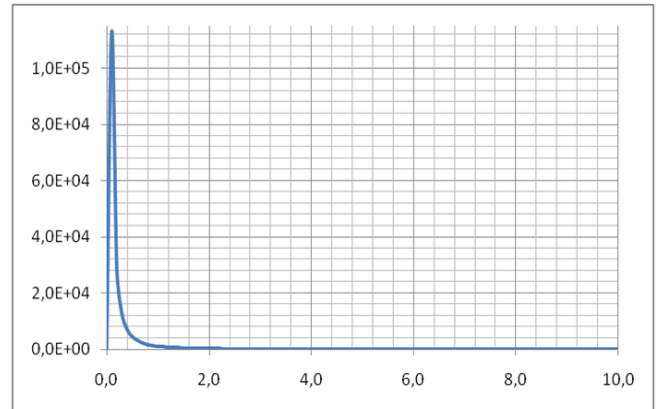
Gambar 3 adalah grafik untuk menghitung tingkat pertama dari energi pada kuantum well (KW) yaitu  $E_1$  dengan ketebalan lapisan KW yaitu  $L_w$ . Gambar 4 adalah grafik untuk menghitung tingkat kedua dari energi pada KW yaitu  $E_2$  dengan ketebalan lapisan KW yaitu  $L_w$ . Energi maksimum  $E_1 = 3,77 \times 10^4 eV$  pada ketebalan lapisan  $L_w = 0,1nm$ . Energi maksimum  $E_2 = 1,51 \times 10^5 eV$  pada ketebalan lapisan  $L_w = 0,1nm$ .



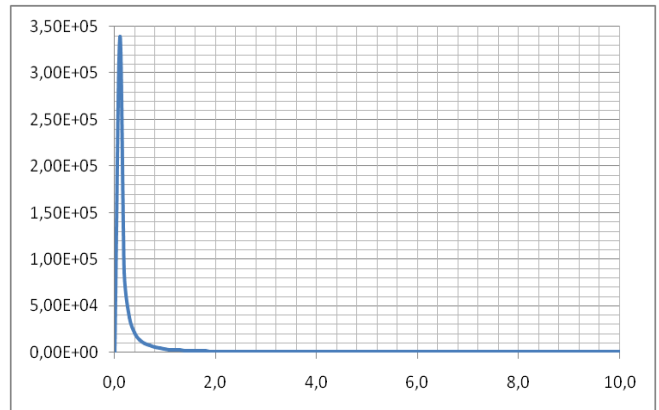
Gambar 3. Grafik untuk menghitung tingkat pertama energi pada kuantum well (KW) yaitu  $E_1$  dengan ketebalan lapisan KW yaitu  $L_w$ .



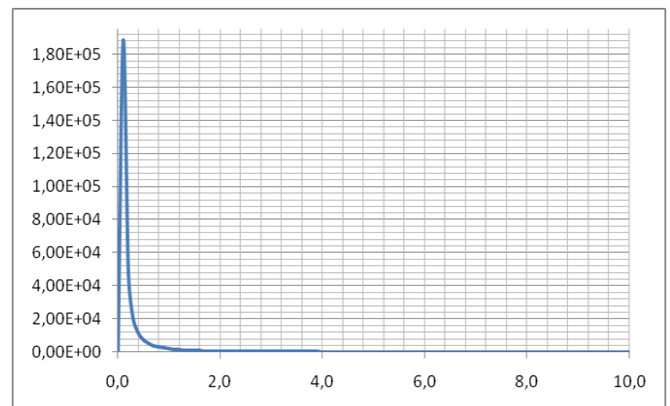
Gambar 4. Grafik untuk menghitung tingkat kedua energi pada kuantum well (KW) yaitu  $E_2$  dengan ketebalan lapisan KW yaitu  $L_w$ .



Gambar 5. Grafik untuk menghitung selisih antara tingkat energi kedua  $E_2$  dengan  $E_1$ .



Gambar 6. Grafik untuk menghitung tingkat ketiga energi pada kuantum well (KW) yaitu  $E_3$  dengan ketebalan lapisan KW yaitu  $L_w$ .



Gambar 7. Grafik untuk menghitung selisih antara tingkat energi kedua  $E_3$  dengan  $E_2$ .

Gambar 5 adalah grafik untuk menghitung selisih  $\Delta E = E_2 - E_1$  antara tingkat energi kedua  $E_2$  dengan  $E_1$ . Dari grafik pada Gambar 5 terlihat bahwa selisih tersebut untuk ketebalan lapisan mula-mula yaitu diperkirakan di titik maksimum (sebab pada titik tersebut terdefiniskan suatu besar dari energinya walaupun ada suatu nilai di titik awalnya)  $0,1nm$  adalah  $1,13 \times 10^5 eV$ , dan di ketebalan akhir pada KW yaitu  $10nm$  adalah  $1,13 \times 10^1 eV$ . Oleh karena itu transisi elektron didalam KW secara berarti melampaui energi termal dan tidak bisa diinduksi oleh fonon termal.

Gambar 6 adalah grafik untuk menghitung tingkat ketiga dari energi pada kuantum well (KW) yaitu  $E_3$  dengan ketebalan lapisan KW yaitu  $L_w$ . Energi maksimum  $E_3 = 3,39 \times 10^5 eV$  pada ketebalan lapisan  $L_w = 0,1nm$ . Energi maksimum  $E_2 = 1,51 \times 10^5 eV$  pada ketebalan lapisan  $L_w = 0,1nm$ .

Gambar 7 adalah grafik untuk menghitung selisih  $\Delta E = E_3 - E_2$  antara tingkat energi ketiga  $E_3$  dengan  $E_2$ . Dari grafik pada Gambar 7 terlihat bahwa selisih tersebut untuk ketebalan lapisan mula-mula yaitu diperkirakan di titik maksimum (sebab pada titik tersebut terdefiniskan suatu besar dari energinya walaupun ada suatu nilai di titik awalnya)  $0,1nm$  adalah  $1,88 \times 10^5 eV$  dan di ketebalan akhir pada KW yaitu  $10nm$  adalah  $1,88 \times 10^1 eV$ . Oleh karena itu transisi elektron didalam KW secara berarti melampaui energi termal dan tidak bisa diinduksi oleh fonon termal.

## KESIMPULAN DAN SARAN

KW memberikan kemampuan tinggi didalam menyerap cahaya dimana menciptakan pasangan elektron hole yang terlokasi didalam well.

Menggunakan model diatas maka level energi  $\Delta E$  di pita konduksi memiliki nilai melampaui energi termal dan tidak bisa diinduksi oleh fonon termal oleh karena itu proses tangkapan menjadi sangat efektif sehingga KW menjadi nanomaterial yang berguna untuk meningkatkan performansi sel.

Belum dihitung level energi untuk hole  $\Delta E_h$ , semoga penelitian berikutnya oleh penulis maupun peneliti lainnya bisa menghitungnya dan memodelkan level energi tersebut baik pada pita valensi maupun pada pita konduksi jika ada. Membuat SS nanomaterial merealisasikannya model tersebut didalam piranti SS KW dan KD yang nyata.

## DAFTAR PUSTAKA

- DeVries.P.L. *A First Course in Computational Physics*. John Wiley and Sons.
- Jogiyanto H.M, 1998. *Dasar-dasar Pemrograman Pascal*. Andi Offset, Yogyakarta.
- Krane K, 1996. *Fisika Modern*. John Wiley and Sons.
- Pauling L, 1935, *Introduction to Quantum Mechanics*. McGraw-Hill Company, INC.
- Sablon K A., Sergeev A, 2014, *Emerging PV Nanomaterials: Capabilities Versus Recombination Losses*. Springer Series in Materials Science.
- Sze S.M., 2003. *Physics of Semiconductor Devices* 2nd edition. John Wiley and Sons.
- Quinonez A, 2008, *Introduction to Nanotechnology*. Electronics and Advanced Technologies Austin Community College.
- Wang Z, Zhiming M.W, 2014, *High Efficiency Solar Cell*. Springer Series in Materials Science.