

SIMULASI AWAL PERANCANGAN SEL SURYA *DOUBLE JUNCTION* GAAS/GE

Tony Sumaryada¹, Heriyanto Syafutra¹, Robi Sobirin¹, Ajeng Widya Roslia¹

¹Bagian Fisika Teori, Departemen Fisika IPB
Jalan Meranti Wing S Kampus IPB Dramaga Bogor 16680, Indonesia
Corresponding email : tsumaryada@ipb.ac.id

ABSTRAK

Dalam makalah ini ditampilkan hasil simulasi awal dari perancangan sel surya double junction GaAs/Ge menggunakan program PC1D dan MATLAB. Perhitungan koefisien absorpsi, spektrum radiasi matahari serta spektrum transmisi dari lapisan GaAs dilakukan dengan menggunakan program MATLAB. Hasil perhitungan tersebut kemudian digunakan sebagai parameter masukan untuk perancangan sel surya menggunakan program simulasi PC1D. Hasil perhitungan spektrum emisi untuk GaAs menghasilkan nilai radiasi yang diteruskan ke lapisan Ge sebesar 584 W/m^2 . Radiasi matahari yang digunakan di sini menggunakan Standar ASTM E-490 AMO dengan nilai total radiasi matahari sebesar 1180 W/m^2 . Untuk nilai efisiensi daya keluaran dari sel surya *double junction* GaAs/Ge diperoleh efisiensi total sebesar 35.03 %. Hasil ini cukup baik, bila dibandingkan hasil simulasi sel surya multijunction lainnya yang berkisar antara 30 % hingga 42 %.

Katakunci : Sel Surya, GaAs, Ge, *Double junctions*, Semikonduktor, PC1D, MATLAB

1 PENDAHULUAN

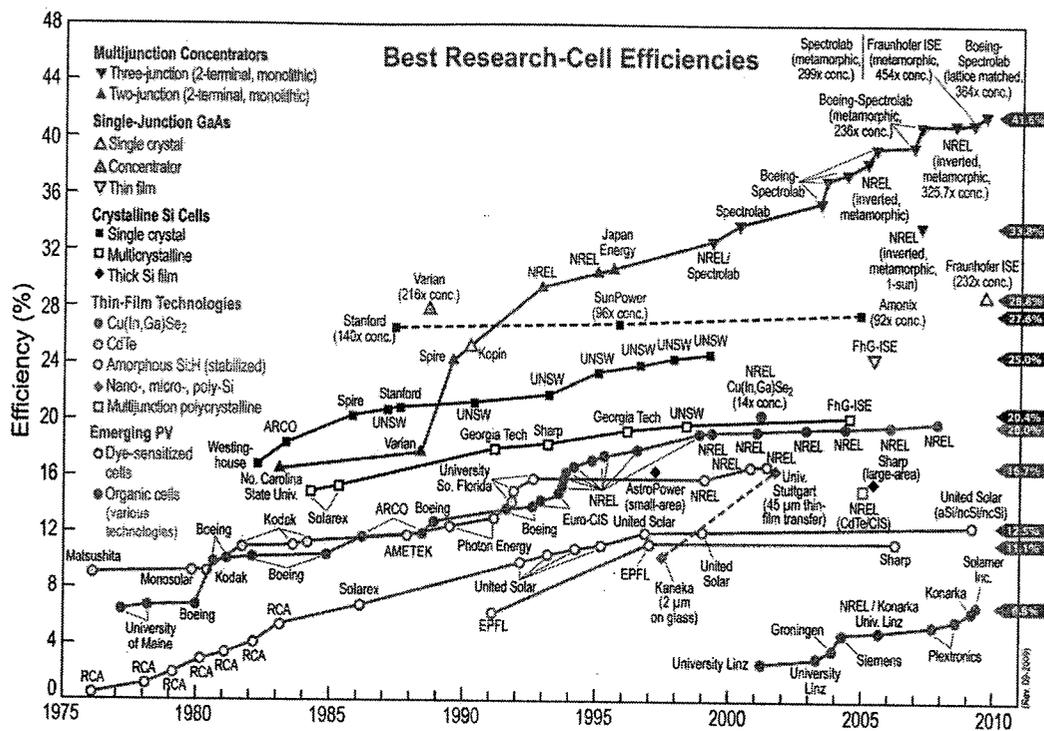
Kebutuhan energi dunia terus bertambah seiring dengan makin bertambahnya populasi manusia di dunia serta meningkatnya tingkat perekonomian di negara-negara berkembang yang memiliki tingkat populasi yang tinggi. Lebih dari 80% kebutuhan energi tersebut masih dipasok oleh bahan bakar fosil atau *fossil fuel* seperti minyak, gas, dan batubara [1].

Sumber energi terbarukan dan berkelanjutan seperti sinar matahari, angin, biomassa, gelombang laut, dan lain-lain dapat menjamin ketersediaan sumber energi dunia sekaligus mengurangi dampak laju kerusakan lingkungan dan perubahan iklim global. Oleh karena itu penelitian dan pengembangan energi terbarukan dan berkelanjutan perlu terus dilakukan dan didukung oleh semua pihak.

Salah satu sumber energi terbarukan adalah matahari yang dapat dipanen energinya menggunakan divais sel surya. Perkembangan industri sel surya mengalami

peningkatan yang sangat drastis hampir 500 kali lipat, dari 46 MW pada tahun 1990 menjadi 23.4 GW pada tahun 2010 [2]. Dengan makin berkembangnya industri sel surya, banyak penelitian yang dilakukan untuk mendapatkan sel surya dengan nilai efisiensi yang tinggi. Namun tingginya biaya riset dan fabrikasi sel surya berefisiensi tinggi tersebut menjadi kendala bagi para ilmuwan, terutama ilmuwan dari Negara-negara berkembang. Untuk mengurangi biaya operasional sintesis, karakterisasi, dan fabrikasi, maka perlu dilakukan simulasi yang akurat untuk menentukan parameter-parameter awal yang terbaik yang dapat menghasilkan bahan sel surya dengan tingkat efisiensi yang tinggi. Saat ini telah banyak dikembangkan program-program simulasi sel surya seperti AMPS-1D, MEDICI, dan PC1D. Dalam penelitian ini kita akan menggunakan program PC1D yang sudah dikenal luas untuk perancangan dan simulasi disain material sel surya [3].

Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh R.R. King et al 2009 [4] rekor efisiensi tertinggi yang tercatat adalah sebesar 41,6% untuk sel surya multi junction yang menggunakan konsentrator. Gambar 1: menunjukkan perkembangan penelitian sel surya yang dilakukan sampai tahun 2009.



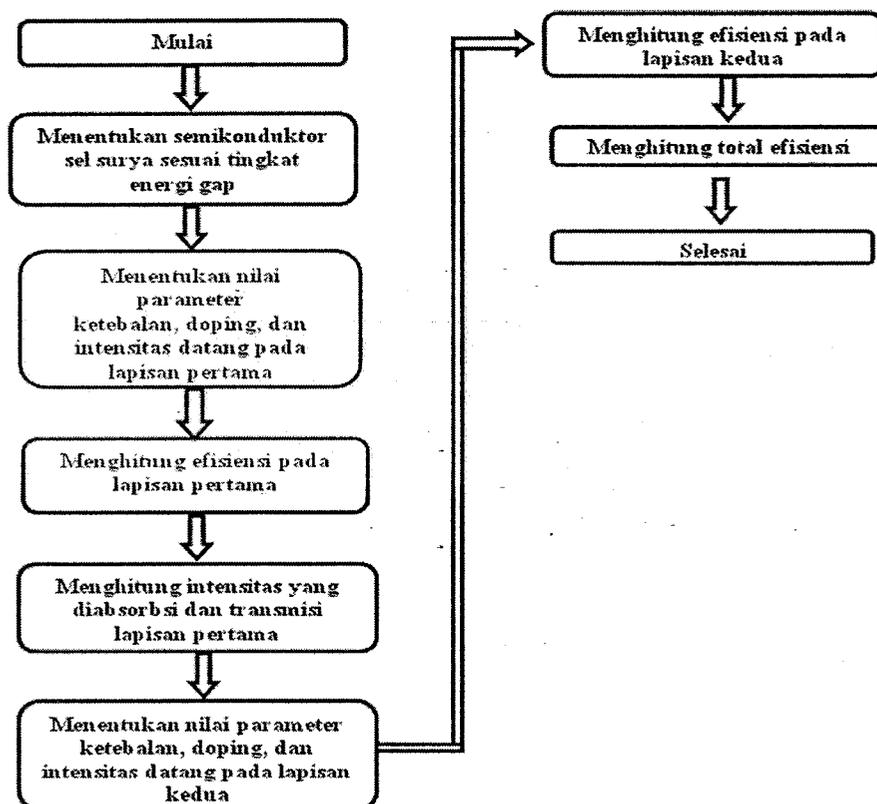
Gambar 1. Perkembangan nilai efisiensi sel surya di dunia hingga tahun 2009 Sumber : R. R. King et al. 2009. *24th European Photovoltaic Solar Energy Conf.* Hamburg, German.

2 METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan program simulasi PC1D untuk menghitung efisiensi film tipis double junction GaAs/Ge. PC1D adalah suatu program yang dapat mensimulasikan fenomena transport pada bahan semikonduktor. Program tersebut dibangun dari perhitungan *finite element method* serta digunakan untuk perancangan sel surya berbasis Silikon dan Germanium. Program ini dikembangkan oleh Paul Basore et.al [3,5,6,7] sekitar awal tahun 1990 an.

Data parameter awal untuk material GaAs dan Ge diperoleh dari data base program simulator PC1D sendiri. Untuk menghitung efisiensi total dari film tipis double junction GaAs/Ge dilakukan dengan cara menghitung efisiensi masing-masing lapisan, karena Program simulator PC1D tidak bisa mensimulasikan double junction secara langsung. Diagram alir proses simulasi kedua lapisan double junction tersebut, ditampilkan pada Gambar 2.

Program simulator PC1D memiliki empat bagian yaitu: *Device*, *Region 1 Excitation* dan *Result*. *Device* merupakan bagian dimana kita memasukkan nilai parameter dari sel surya seperti ukuran sel surya, ada tidaknya lapisan anti refleksi, ada tidaknya tekstur permukaan, dan pemilihan model persamaan sel surya (satu dioda, dua dioda, serta ada tidaknya R_{shunt} dan R_{seri}). *Region 1* merupakan bagian dimana kita memasukkan nilai parameter dari material yang digunakan, program simulator PC1D sendiri sudah menyediakan 5 material dasar yaitu (Al_3Ga_7As , GaAs, Ge, InP dan Si). Jika ingin mensimulasikan material lain, pengguna cukup mengganti nilai masukan pada bagian *Region1*. Pada bagian *Excitation* kita memasukkan nilai parameter dari radiasi yang meliputi panjang gelombang dan intensitas cahaya. *Result* adalah bagian yang akan menampilkan hasil dari simulasi yang telah dilakukan. contoh tampilan simulasi pada layar komputer ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 2. Tahapan simulasi mencari efisiensi sel surya double junction GaAs/Ge menggunakan PC1D

File: C:\Users\tony\Desktop\Riset2012\My Project PC1D\PC1D5\GeTony1.prm
 (Double-click to add a description)

DEVICE

Device area: 1 cm²
 No surface texturing
 No surface charge
 No Exterior Front Reflectance
 No Exterior Rear Reflectance
 No internal optical reflectance
 Emitter contact enabled
 Base contact enabled
 No internal shunt elements

REGION 1

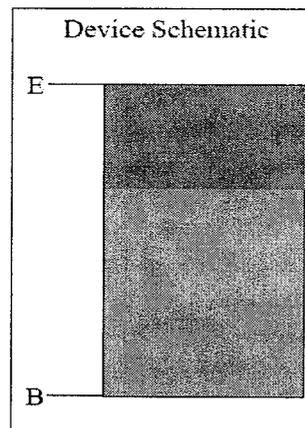
Thickness: 6 μm
 Material from ge.mat
 Carrier mobilities from internal model
 Dielectric constant: 16
 Band gap: 0.664 eV
 Intrinsic conc. at 300 K: 2.33×10¹³ cm⁻³
 Refractive index from ge.inr
 Absorption coeff. from ge300.abs
 No free carrier absorption
 N-type background doping: 1×10¹⁴ cm⁻³
 1st front diff.: P-type, 1×10¹⁷ cm⁻³ peak
 No 2nd front diffusion
 No rear diffusion
 Bulk recombination: τ_n = τ_p = 1000 μs
 No Front-surface recombination
 No Rear-surface recombination

EXCITATION

Excitation modified from one-sun.exc
 Excitation mode: Transient, 16 timesteps
 Temperature: 300 K
 Base circuit: Sweep from -0.8 to 0.8 V
 Collector circuit: Zero
 Primary light source enabled
 Constant intensity: 0.0584 W cm⁻²
 Spectrum from am0.spc
 Secondary light source disabled

RESULTS

Short-circuit Ib: 0.0285 amps
 Max base power out: 9.038e-3 watts
 Open-circuit Vb: -0.3930 volts



Gambar 3. Tampilan program simulator sel surya PC1D

Untuk menghitung nilai efisiensi sel surya, yang pertama kali kita lakukan adalah menentukan radiasi matahari yang akan digunakan. Spektrum radiasi di permukaan matahari dapat dimodelkan dengan persamaan radiasi benda hitam yang diberikan oleh:

$$I_{\text{matahari}}(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \left(\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \right) \quad (1)$$

Dimana I_{matahari} = intensitas persatuan panjang gelombang ($\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}$)

h = konstanta plank ($6,63 \times 10^{-34}$ J.s)

c = kelajuan cahaya di ruang hampa (3×10^8 m/s)

k = konstanta boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ J/K)

T = suhu (5.700 K)

λ = panjang gelombang (μm)

Ketika sampai pada permukaan bumi besarnya intensitas persatuan panjang gelombang ini akan berkurang sebesar:

$$I_{\text{bumi}} = \left(\frac{r_{\text{matahari}}}{R} \right)^2 I_{\text{matahari}} \quad (2)$$

Dengan r_{bumi} = jari-jari matahari ($6,9 \times 10^8$ m) dan R = jarak matahari ke bumi ($1,5 \times 10^{11}$ m).

Nilai radiasi sesungguhnya yang diterima oleh panel sel surya akan dikurangi lagi oleh seapan radiasi oleh molekul-molekul gas di udara serta sudut rata-rata jatuhnya radiasi matahari pada permukaan bumi. Nilai radiasi total yang diterima di permukaan bumi dimodelkan oleh beberapa model seperti AM0, AM1.5 dan lain-lain. Untuk penelitian ini kami menggunakan standar radiasi ASTM E-490 AM0 yang menggambarkan radiasi di saat matahari tepat berada di puncak (siang hari di katulistiwa).

Besarnya intensitas I_0 yang jatuh pada lapisan pertama (lapisan GaAs) dihitung dengan menggunakan standard radiasi ASTM E-490 AM0, sedangkan besarnya intensitas yang diteruskan lapisan pertama (GaAs) dihitung menggunakan persamaan (1) :

$$I_t(\lambda) = I_o(\lambda) e^{-\alpha(\lambda)x} \quad (3)$$

Dimana: I_t = intensitas yang ditransmisikan sebagai fungsi panjang gelombang ($\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}$)

I_o = intensitas awal fungsi panjang gelombang ($\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}$)

α = koefisien absorbansi bahan (1/cm)

x = ketebalan lapisan (μm)

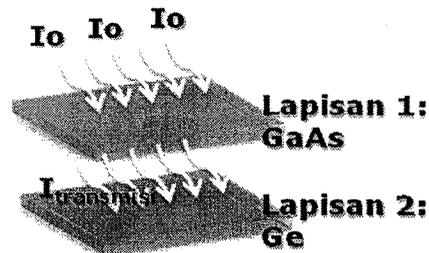
Untuk menghitung radiasi yang diteruskan ke lapisan ke dua $I(\lambda)$, maka perlu dihitung terlebih dahulu nilai koefisien absorpsi dari lapisan pertama, menggunakan persamaan (4)

$$\alpha(\lambda) = \alpha_0 \frac{\sqrt{E - E_G}}{E_G} \quad (4)$$

Sedangkan nilai efisiensi dari tiap lapisan dihitung menggunakan persamaan (5)

$$\eta = \frac{P_m}{P_{in}} \quad (5)$$

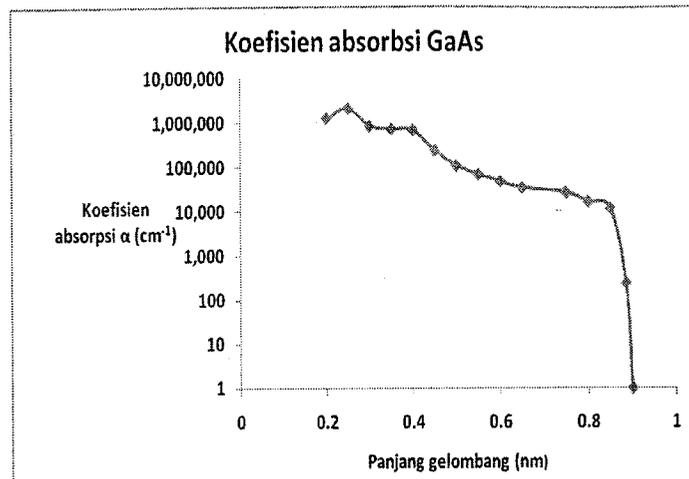
Ilustrasi proses absorpsi dan transmisi radiasi pada kedua lapisan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Proses absorpsi dan transmisi pada sel surya double junction GaAs/Ge

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

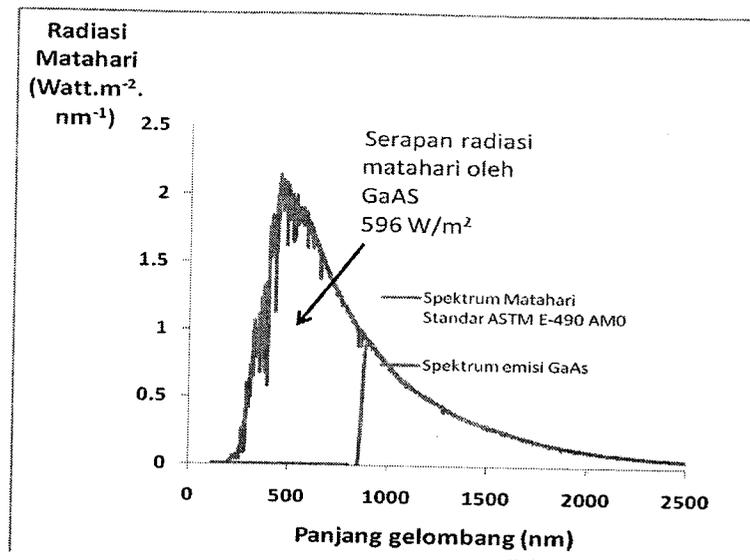
Dari hasil perhitungan koefisien absorpsi seperti pada persamaan (4) diperoleh nilai koefisien absorpsi GaAs yang cenderung menurun pada rentang panjang gelombang 200 hingga 800 nm, sebelum akhirnya menjadi nol atau hilang sepenuhnya pada panjang gelombang 886 nm. Ini menunjukkan bahwa material GaAs akan bekerja aktif menyerap radiasi matahari pada rentang tersebut. Sedangkan untuk panjang gelombang diatas 886 nm, material GaAs tidak lagi responsif dan bersifat transparan, melewatkan atau mentransmisikan radiasi matahari ke lapisan Germanium di bawahnya. Hal ini ditunjukkan oleh Gambar 5. Dibawah ini.



Gambar 5. Koefisien absorpsi GaAs (skala logaritmik) sebagai fungsi panjang gelombang.

Hasil perhitungan nilai radiasi matahari yang dilewatkan oleh GaAs menggunakan persamaan (3) dibandingkan dengan standar radiasi matahari ASTM E-490 AM0 ditampilkan pada Gambar 6. Intensitas radiasi total dari matahari pada permukaan bumi sesuai persamaan (2) diperoleh sebesar 1180 Watt/m^2 sedangkan radiasi sinar matahari yang diteruskan oleh GaAs sesuai persamaan (3) sebesar 584 Watt/m^2 . Dari sini dapat diketahui nilai radiasi matahari yang diserap oleh GaAs sebesar $1180 \text{ Watt/m}^2 - 584 \text{ Watt/m}^2 = 596 \text{ Watt/m}^2$. Nilai 584 Watt/m^2 ini kemudian kita gunakan sebagai parameter masukan untuk simulasi lapisan ke dua yaitu Germanium.

Simulasi PC1D akan menghitung secara otomatis daya keluaran maksimum atau P_m dari lapisan yang disimulasikan. PC1D juga akan menampilkan tegangan rangkaian terbuka dan arus rangkaian pendek dari bahan tersebut. Untuk menghitung nilai efisiensi total dari material *double junction* kita cukup menjumlah jumlah daya keluaran dari masing-masing lapisan kemudian dibagi dengan daya yang berasal dari radiasi matahari, kemudian dikalikan 100%. Tabel 1. di bawah ini menyatakan hasil-hasil perhitungan yang kami peroleh.



Gambar 6. Spektrum Emisi Matahari dan lapisan GaAs

Tabel 1. Hasil perhitungan daya intensitas dan efisiensi tiap-tiap lapisan sel surya dan nilai efisiensi total dari sel surya double junction GaAs/Ge.

Material Sel surya	Intensitas radiasi yang masuk (Watt/cm ²)	Intensitas radiasi maksimum I_m hasil perhitungan PC1D (Watt/cm ²)	Nilai Efisiensi lapisan
GaAs	0.1180	0.0323	27.37 %
Ge	0.0584	0.009038	15.48 %
Nilai total		0.041338	$\eta_{total} = 35.03 \%$

Untuk luas penampang 1.0 cm² seperti yang kita gunakan dalam program PC1D, maka nilai efisiensi total dapat dihitung dengan cara :

$$\text{Efisiensi total} = ((0.0323 \text{ W} + 0.009038) / 0.1180) \times 100\% = 35.03 \%$$

Hasil ini cukup baik bila dibandingkan hasil penelitian material multijunction lainnya yang dilakukan peneliti lain [8,9]. Kontribusi terbesar dari nilai efisiensi ini diperoleh dari lapisan GaAs yang memiliki nilai efisiensi tunggal sebesar 27.37 %. Hasil tersebut masih dapat ditingkatkan dengan melakukan texturing baik permukaan atas maupun bawah dari lapisan sel surya heterojunction tersebut. Penggunaan model konsentrator dalam penyusunan sel surya juga dapat meningkatkan intensitas spektrum matahari yang masuk yang pada akhirnya meningkatkan pula nilai efisiensi total. Penambahan *junction* juga akan memperbanyak serapan spektrum matahari dan mengurangi daya yang terbuang.

4 KESIMPULAN

Telah dilakukan perancangan awal material sel surya double junction GaAs/Ge menggunakan program simulasi PC1D. Hasil yang diperoleh cukup baik yaitu efisiensi total sebesar 35.03 %. Sebagai perbandingan efisiensi sel surya tertinggi saat ini diperoleh dari sel surya triple junction *GaInP/GaInAs/Ge* yang

memiliki efisiensi total 41.6 %. Di masa depan akan dilakukan dipelajari efek penggunaan konsentrator serta *surface texturing* untuk meningkatkan efisiensi total dari sel surya double junction ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Robert L Evans, 2007. " *Fueling our future, An Introduction to Sustainable Energy*". New York : Cambridge University Press.
- [2] A. Jager-Waldau, 2011. " *Quo Vadis Photovoltaics*". EPJ Photovoltaics **2**, 20801 (2011)
- [3] P.A. Basore, D.T. Rover, and A.W. Smith, 1988. " *Enhanced Numerical Solar Cell Modelling*". 20th IEEE PVSC, Sep 1988, pp.389-396.
- [4] R. R. King, et al., 2009. " *24th European Photovoltaic Solar Energy Conf.* Hamburg, Germany, Sep 21-25.
- [5] P.A. Basore, 1991. " *PC-1D Version 3: Improved Speed and Convergence*". 22nd IEEE PVSC, Oct 1991, pp.299-302.
- [6] P.A. Basore and D.A. Clugston, 1996. " *PC1D Version 4 for Windows: From Analysis to Design*". 25th IEEE PVSC, May 1996, pp 377-381.
- [7] D. A. Clugston and P.A. Basore, " *Modelling Free carrier Absorption in Solar Cells*", Progress in Photovoltaics, **5**, 229-236
- [8] R. R. King, D. C. Law, K. M. Edmondson, et al., 2007. " *40% efficient metamorphic GaInP/GaInAs/Ge multijunction solar cells*," Applied Physics Letters, vol. 90, no. 18, Article ID 183516, 3 pages.
- [9] Allen Barnett et al., 2007. " *Milestones toward 50% efficient solar cell modules*". 22nd European Photovoltaic Solar Energy Conference, 3-7 September 2007, Milan, Italy