

Struktur dan komposisi kimia bahan semikonduktor Cd(Se,S) masif hasil preparasi dengan metode Bridgman.

(Structure and chemical composition of Cd(Se_(1-x),S_x) bulk obtained by the Bridgman Methode)

Ariswan

Juridik.Fisika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui struktur, dan komposisi kimia bahan semikonduktor sel surya Cd(Se_(1-x),S_x) hasil penumbuhan kristal dengan teknik Bridgman. Karakterisasi yang telah dilakukan meliputi struktur kristal menggunakan Difraksi Sinar- X dan Komposisi kimia bahan dengan Energy Dispersive Spectroscopy (EDS).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa senyawa Cd(Se_(1-x),S_x) terkristalisasi dalam struktur **orthorombik** dengan parameter kisi *a*, *b*, dan *c* sebagai fungsi komposisi *x* atom sulfur diberikan oleh persamaan (dalam angstrom) :

$$a = 3.30678 + 0.0632 x - 0.1415 x^2; \quad b = 4.6915 - 0.2152 + 0.4464 x^2; \quad \text{dan} \\ c = 3.3390 - 0.25742 x + 0.4925 x^2.$$

Kata Kunci : Semikonduktor, Kalkopirit dan Sel Surya

Abstract

In this work we present the technique of Bridgman permitting to get the photovoltaic materials of the type Cd(Se_(1-x),S_x). The characterization that has been carried out is X-ray Diffraction and Energy Dispersive Spectroscopy.

We got the results of this preparation is a good qualities. The results showed that phase of orthorombic and has an unit cell parameters *a*, *b*, and *c* are a function of sulfur composition of *x* by:

$$a = 3.30678 + 0.0632 x - 0.1415 x^2; \quad b = 4.6915 - 0.2152 + 0.4464 x^2; \quad \text{dan} \\ c = 3.3390 - 0.25742 x + 0.4925 x^2.$$

Keywords: semiconductors, Chalcopyrit and solar cells.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi pada kehidupan modern terus meningkat, sehingga para peneliti terus berupaya mengembangkan sumber- sumber energi terbarukan, untuk menggantikan sumber energi konvensional yang telah mapan selama ini. Energi terbarukan yang selama ini terus dikembangkan meliputi energi surya, energi angin, energi air dan lain- lain yang secara umum sumber energi terbarukan tersebut tidak akan habis. Disamping itu energi terbarukan lebih menjaga keseimbangan alam karena hampir bebas dari persoalan polusi. Sementara itu sumber energi konvensional (batu bara, bahan bakar minyak), secara umum memiliki dua kelemahan yaitu sumber energi yang suatu ketika akan habis dan menimbulkan masalah polusi yang mengancam kehidupan umat manusia.

Efek fotovoltaiik pertama kali ditemukan oleh Edmond Becquerel pada tahun 1839. Kemudian baru tahun 1912 Einstein menjelaskan secara teori, mekanisme fenomena tersebut, namun masih sebatas eksperimen di laboratorium. Baru setelah perang dunia ke II, yakni pada tahun 1950 direalisasikan sel surya pertama kalinya. Sel surya tersebut menggunakan bahan kristal silikon dan memiliki efisiensi konversi 4 %. Selanjutnya pada 1970 ketika dunia dihadapkan dengan krisis energi, penelitian mengenai sel surya dilakukan secara intensif. Hasilnya adalah bahwa pada tahun 1979 telah dibangun pusat listrik tenaga surya hingga mencapai 1 M Watt.

Kebutuhan sumber energi dunia dengan proses nir polutan terus diperlukan, sehingga perkembangan listrik tenaga surya terus berkembang terutama di negara-negara maju. Pada tahun 1995 telah dibangun listrik tenaga surya sampai 500 M.watt dan sampai dengan tahun 2000 telah dibangun hingga mencapai 1 G.watt.

Sel surya yang digunakan saat ini sebagian besar terbuat dari silikon. Persentase penggunaan bahan sel surya dewasa ini adalah 43 % silikon polikristal, 39 % silikon kristal tunggal, 1 % silikon lapisan tipis, 3 % silikon dalam bentuk ribbon sedangkan 14 % bahan selain silikon. Silikon mendominasi bahan sel surya karena teknologi fabrikasinya memang sudah mapan. Namun demikian penelitian menggunakan bahan lain terus dilakukan hingga kini dan bahkan pada masa-masa yang akan datang. Beberapa penelitian dalam tingkat sel surya telah dihasilkan: menurut Contreras, M. (1999:311) GaAs(kristal) dengan efisiensi mencapai 25 %, Cu(Ga,In)Se memberikan efisiensi 18.8 % dan apabila menggunakan konsentrator mencapai 21,5 %. Bahkan menurut Rannels J.E (2001: 3) pada tahun 2005 dengan sistem multi sambungan (multijunction) efisiensinya diharapkan dapat mencapai 40 %. Dengan demikian penelitian ini jelas memiliki arti penting dalam memberikan kontribusi pada penciptaan piranti sel surya berbasis selain Silikon.

Bahan Cd(Se,S) adalah bahan semikonduktor yang salah satu penerapannya dalam teknologi fotovoltaik. Teknologi ini memungkinkan perubahan energi matahari (surya) langsung diubah menjadi energi listrik. Bahan Cd(Se,S) adalah bahan semikonduktor bertipe n, sehingga jika disambung dengan semikonduktor tipe p, akan diperoleh sambungan p- n yang bisa menghasilkan piranti sel surya. Sebagai contoh sel surya bentuk ini adalah CuS- Cd(Se,S). Dalam terapan lain, mengingat bahan ini memiliki energi gap antara 1,7 eV (CdSe) sampai dengan 2,42 eV (CdS), maka bahan ini dapat dipakai sebagai *buffer* dalam system sel surya berbasis CuInSe₂ (CIS). CdSe merupakan senyawa biner Cadmium dan Selenium. Cadmium selenida berbentuk padatan dengan warna coklat kehijauan sampai merah gelap. Sedangkan Cadmium Sulfida merupakan material semikonduktor tipe n yang juga dapat dimanfaatkan sebagai lapisan penyangga dalam sel surya berbasis CIS. Bahan ini memiliki berwarna kekuningan.

Atas dasar uraian di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk melakukan preparasi dan karakterisasi bahan Cd(Se,S). Karakterisasi bahan diarahkan untuk mengetahui pengaruh komposisi x atom sulfur pada semikonduktor CdSe. Pengaruh tersebut diperkirakan pada dua hal penting. Pertama pada struktur kristal (parameter kisi kristal) yaitu bagaimana bentuk kebergantungan parameter kisi $Cd(Se_{1-x},S_x)$ terhadap fraksi x atom sulfur. Kedua bagaimana pula kebergantungan energi gap sebagai fungsi dari fraksi x atom Sulfur. Kedua kuantitas fisis tersebut sangat penting yaitu kaitannya dengan persambungan p-n sel surya dan kemampuan absorpsi bahan terhadap energi surya yang datang pada bahan tersebut. Karena keterbatasan system peralatan yang ada persoalan pertama saja yang akan menjadi fokus penelitian ini, yaitu kebergantungan parameter kisi terhadap komposisi x atom sulfur dalam system senyawa Cd(Se,S).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi atom sulfur pada semikonduktor sel surya Cd(Se,S) terhadap struktur dan parameter kisi kristal. Hal ini sangat penting dilakukan, karena menurut Hanna, G (2001: 71) kualitas persambungan sel surya ditentukan oleh kesesuaian parameter kisi bahan, yaitu $\frac{\Delta a}{a} \approx 0.01$. Disamping itu menurut Goetzberger, A (2000: 1) efisiensi konversi energi surya ditentukan oleh energi gap bahan, sedangkan energi gap bahan semikonduktor pada umumnya ditentukan oleh parameter kisi kristal bahannya.

Penelitian ini memiliki manfaat sangat besar diantaranya adalah masih diperlukannya data-data semikonduktor Sistem Cd(Se,S) untuk meningkatkan efisiensi konversi sel surya baik berbasis Cd(Se,S)- CuS maupun sel surya berbasis Cu(In,Ga)Se₂. Data tersebut meliputi sifat- sifat optik, sifat- sifat listrik yang sangat diperlukan dalam aplikasi bahan pada terapan teknologinya.

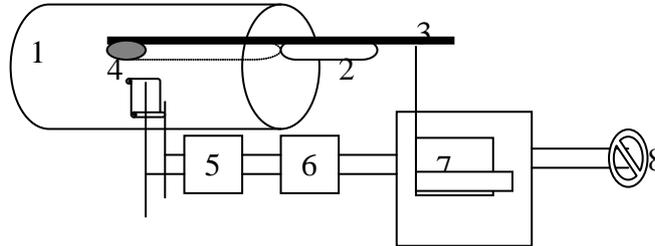
METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dapat dibedakan dalam dua tahapan. Pertama adalah metode preparasi bahan dan kedua metode karakterisasi yang meliputi penentuan struktur dan komposisi kimia serta morfologi permukaan sampel.

1. Metode preparasi bahan

Bahan yang diperlukan untuk preparasi paduan masif adalah Cadmium (Cd), Selen (Se) dan sulfur (S) yang masing masing memiliki derajat kemurnian 99.99 %. Preparasi ini dilakukan dengan beberapa langkah sebagai berikut.

- Pertama, menyusun system peralatan metode Bridgman dengan skema preparasi seperti tampak pada gambar 1 berikut ini.



Gambar 1: Skema preparasi massif : 1: furnace; 2: Tabung quartz; 3: Termokopel; 4: Bahan Cu, In, Ga, Se dan S dengan kemurnian 99.99 %; 5: Ampermeter; 6: Autotransformator; 7: Regulator terprogram dan 8: Sumber arus

- Kedua, untuk preparasi $Cd(Se_{1-x}S_x)$, mula mula ditimbang tembaga (Cd) misalnya p gram. Selanjutnya dapat dihitung massa selen Se sebesar $\left(\frac{P}{BM_{Cd}} \dots x (1-x) \cdot BM_{Se} \right)$ gram, sedangkan massa sulfur S dapat dihitung sebesar $\left(\frac{P}{BM_{Cd}} \cdot x \cdot BM_S \right)$ gram dengan BM menyatakan berat molekul.
- Ketiga bahan tersebut dimasukkan dalam tabung *pyrex* yang memiliki diameter dalam dan luar berturut turut 12 mm dan 16 mm. Tabung tersebut dicuci dengan campuran larutan HF, HNO₃ dan H₂O dengan perbandingan 2:3:5. dan dikeringkan dalam ruang pemanas bersuhu 80°C selama 8 jam. Tabung bersama bahan- bahan di atas ditempatkan pada vakum berorde 10⁻⁵ Torr dan dilas pada salah satu ujungnya. Tabung *pyrex* yang telah dilas tersebut kemudian ditempatkan pada furnace (gambar 1) yang temperaturnya dapat di atur sesuai kebutuhan yang telah ditentukan melalui penentuan diagram suhu- waktu.

2. Metode Karakterisasi

- Difraksi sinar X (XRD), untuk menentukan struktur dan parameter kisi (a, b dan c). Penentuan parameter kisi dihitung dengan metode Analitik, sehingga dihasilkan perhitungan yang akurat. Prinsip metode tersebut adalah perhitungan konstanta kisi dilakukan dengan melibatkan seluruh bidang (hkl) dari hasil difraksi sinar X, sehingga hasil perhitungan tersebut memenuhi seluruh puncak - puncak difraksi. Hal ini jelas memungkinkan interpretasi hasil XRD menggambarkan material yang riil terjadi dalam preparasi bahan.
- Karakterisasi lainnya adalah *Energy Dispersive Spectroscopy* dapat memastikan senyawa yang terbentuk baik untuk masif maupun lapisan tipis dengan komposisi yang direncanakan.
- Sedangkan untuk mengetahui bagaimana ukuran grain yang terbentuk dalam bahan polikristal digunakan *Scanning Electronic Microscopy* (SEM). SEM mampu memperbesar sampai 20.000 kali, sehingga dapat diketahui pula tingkat homogenitas sampel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisa EDS

Elemen-elemen yang digunakan Cd, Se, dan S setelah ditimbang dengan perbandingan yang sesuai dengan formulasi yang telah dituliskan sebelumnya, kemudian dimasukkan dalam tabung *pyrex* dengan diameter dalam 12 mm dan diameter luar 16 mm. Tabung berisi elemen-elemen tersebut dilas pada tekanan 10⁻⁶ Torr, lalu ditempatkan pada *furnace* terprogram dengan

alur suhu yang ditentukan berdasarkan diagram fasa bahan tersebut. Bahan yang dapat dipreparasi dalam seri $Cd(Se_{1-x}S_x)$, dan hasil preparasi riilnya ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil preparasi riil senyawa $Cd(Se_{1-x}S_x)$ berdasarkan pengukuran EDAX.

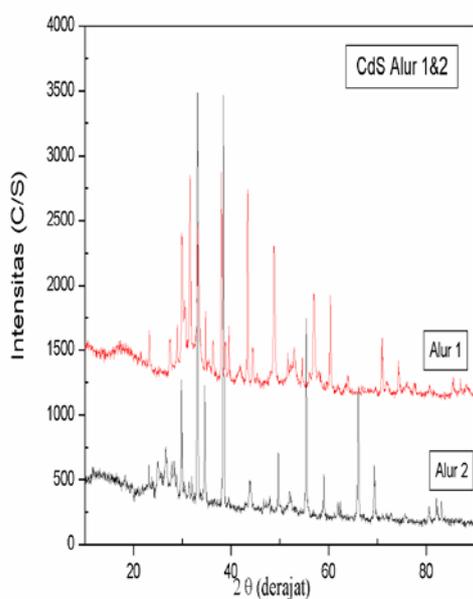
| No | Besarnya x | Cd (%) | Se (%) | S (%) | Formulasi bahan hasil preparasi |
|----|------------|--------|--------|-------|---------------------------------|
| 1 | 0 | 39.13 | 60.87 | 0 | $Cd Se_{1.5}$ |
| 2 | 0,2 | 32.10 | 47.29 | 20.61 | $Cd(Se_{0.7} S_{0.3})$ |
| 3 | 0.4 | 44.49 | 50.13 | 5.38 | $Cd(Se_{0.9} S_{0.1})$ |
| 4 | 0.5 | 35.14 | 42.13 | 22.73 | $Cd(Se_{0.65} S_{0.35})$ |
| 5 | 0.6 | 40.42 | 25.78 | 33.80 | $Cd(Se_{0.4} S_{0.6})$ |
| 7 | 1.0 | 63.9 | 0 | 36.61 | $Cd S_{0.6}$ |

Hasil analisa EDS menunjukkan bahwa hasil preparasi bahan dengan teknik Bridgman agak jauh hasil yang diharapkan. Hal ini lebih disebabkan karena keterbatasan piranti laboratorium. Hasil ini mengilhami peneliti untuk mencoba menaikkan suhu yang lebih tinggi lagi tentu dengan pemanasan dua tahap. Dalam kondisi suhu tinggi, maka tingkat kesempurnaan terjadinya reaksi kimia semakin sempurna. Penyimpangan hasil preparasi dari komposisi idealnya yang selanjutnya disebut dengan non stokiometri. Struktur non stokiometri dapat terjadi karena munculnya berbagai cacat dalam kristal. Cacat ini bisa berbentuk kekosongan (*vacancy*) dimana suatu titik dalam kristal tidak dihuni oleh suatu atom, *anti site* dimana atom berada pada titik kital tidak lazimnya dan *interstitial* yaitu atom berada tidak pada titik kristalnya. Berberapa defect tersebut berada pada tingkatan energi antara pita valensi dan pita konduksi, sehingga akan menentukan tipe konduktivitas bahan semikonduktor.

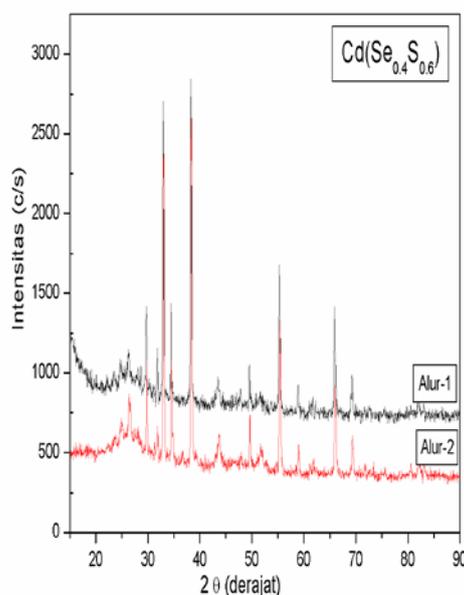
KARAKTERISASI STRUKTUR KRISTAL

Penentuan struktur kristal dari sampel yang telah dipreparasi menggunakan teknik difraksi sinar X. Hasil spektrum difraksi sinar X beberapa sampel hasil preparasi dengan teknik Bridgman tersebut seperti tampak pada gambar 6 berikut ini.

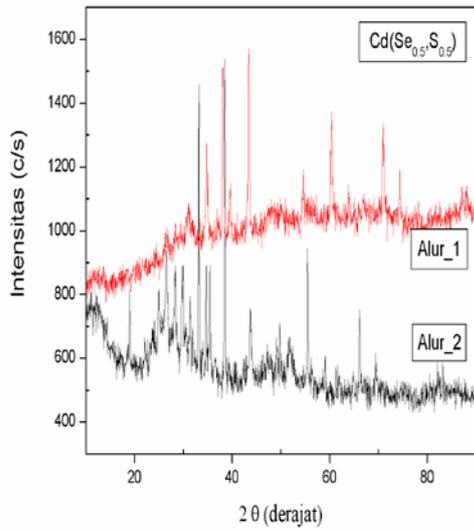
(a)



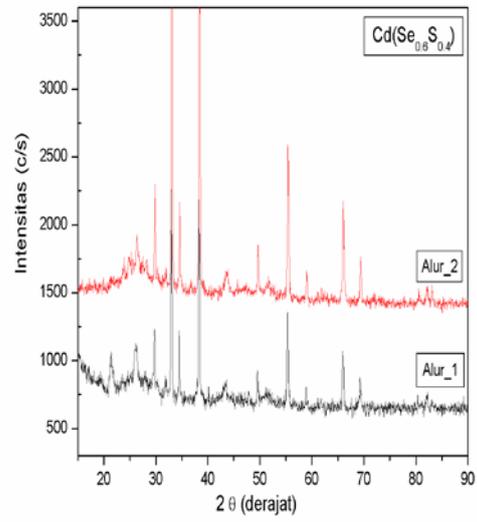
(b)



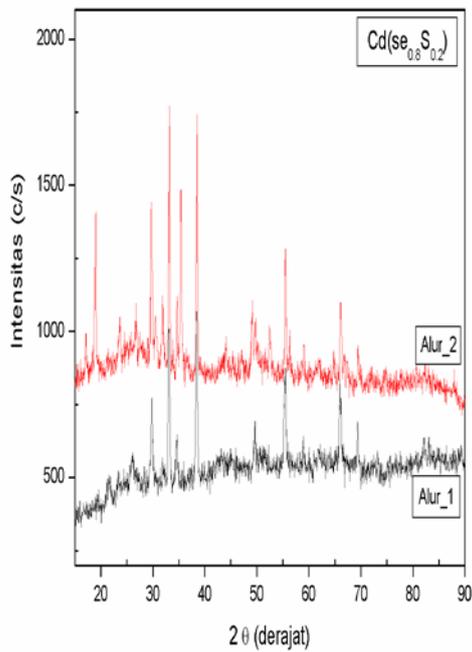
(c)



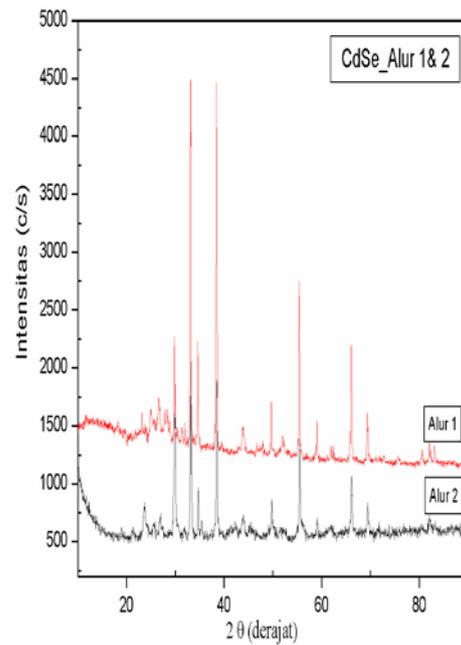
(d)



(e)



(f)



Gambar 2.a;b;c;d;e; dan f Hasil spektrum XRD Cd(Se_{1-x}S_x)

Selanjutnya dari data spektrum sinar X tersebut diatas dapat dihitung parameter kisi a, b dan c dan hasilnya seperti pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Nilai parameter kisi a, b, dan c Cd(Se_{1-x}S_x).

| Cd(Se _{1-x} S _x). | a (Å) | b (Å) | c (Å) | Vol. (Å ³) |
|--|--------|--------|--------|------------------------|
| x = 0 | 3.3075 | 4.6799 | 3.3290 | 51.53 |
| x = 0,2 | 3.3117 | 4.6886 | 3.3290 | 51.69 |
| x = 0,4 | 3.3117 | 4.6739 | 3.3327 | 51.58 |
| x = 0,5 | 3.3022 | 4.6739 | 3.3327 | 51.43 |
| x = 0.6 | 3.4703 | 4.6893 | 3.1844 | 51.82 |
| x = 1 | 3.2285 | 4.9260 | 3.5765 | 56.88 |

Dengan mempertahankan nilai parameter kisi pada tabel 2 di atas tampak bahwa keberadaan atom sulfur pada sistem Cd(Se_{1-x}S_x). menentukan parameter kisi baik a, b, maupun c. Kedua parameter kisi pada umumnya semakin naik dengan naiknya fraksi sulfur x, begitu pula pada secara umum naiknya volume sel satuan dari kristal. Variasi nilai parameter kisi sebagai fungsi dari komposisi x atom sulfur diberikan oleh persamaan :

$$a = 3.30678 + 0.0632 x - 0.1415 x^2; \quad b = 4.6915 - 0.2152 x + 0.4464 x^2; \quad \text{dan} \\ c = 3.3390 - 0.25742 x + 0.4925 x^2.$$

SIMPULAN

Setelah melakukan penelitian tentang preparasi bahan Cd(Se_{1-x}S_x). disimpulkan sebagai berikut:

1. Preparasi bahan semikonduktor Cd(Se_{1-x}S_x). pada suhu rendah (275°C) sudah terbentuk, dengan paduan berstruktur orthorombik dan parameter kisi masing- masing paduan telah dihitung..
2. Hasil analisis komposisi kimia dan morfologi permukaan menunjukkan sudah terbentuk gumpalan- gumpalan kristal (*grain*) dan homogenitas paduan. Komposisi Kimia hasil analisisnya masih ada penyimpangan dari paduan teoritis yang diharapkan.
3. Bahan kristal semikonduktor Cd(Se_{1-x}S_x) memiliki struktur orthorombik dengan parameter kisi sebagai fungsi komposisi sulfur x diberikan oleh persamaan
 $a = 3.30678 + 0.0632 x - 0.1415 x^2; \quad b = 4.6915 - 0.2152 x + 0.4464 x^2; \quad \text{dan} \\ c = 3.3390 - 0.25742 x + 0.4925 x^2.$

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada DP2M Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Depdiknas yang telah membiayai penelitian ini melalui dana penelitian fundamental dengan nomor kontrak : 018/SP2H/PP/DP2M/III/2008. Penelitian memiliki nilai strategis untuk memberikan informasi tentang sifat- sifat fisik bahan sel surya berbasis Cd(Se,S) .

DAFTAR PUSTAKA

- Albin, D.S, Tuttle J.R, Mooney G. D., Carapella J.J., Duda A., Mason A. and Noufi R., *Proc 21 st IEEE photovoltaic Specialists conf.* Orlando F.A (1990)p.562
- Ariswan (2002), Disertasi Program Doktor Universite Montpellier II, Montpellier, Perancis.
- Contreras M., Egaas B., Ramanathan K., *Preferred orientation in polycrystalline Cu(In,Ga)Se2 and its effect on absorber yhin – films and devices, 16th European Photovoltaic Solar Energy Conference.* (1-5 May 2000) p.372
- Goetzberger, C. Hebling, *Photovoltaic materials, past, present, and future, Solar Energy Materials and solar cells*, 62 (2000) p.1
- Hanna D. G., Jasenek A., Rau U., Schock H. W., Influence of the Ga- content on the bulk defect densities of Cu(In,Ga)Se2, *Thin Solid Films* 387 (2001) p.71
- Rannels J, The case for 40 % efficiency goal for photovoltaic cells in 2005, *Solar Energy Materials & Solar Cells* 65 (2001) p 10