

FABRIKASI THIN FILM QUARTERNAIR CuGaSeTe DAN $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ DENGAN EVAPORASI FLASH

A. Harsono Soepardjo

Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

E-mail: psk_ui@yahoo.com

Abstrak

Material quarternair CuGaSeTe and $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ merupakan material dasar yang digunakan dalam fabrikasi solar sel. Material tersebut memiliki koefisien absorpsi yang tinggi sekitar $10^3 - 10^5 \text{ cm}^{-1}$ dan rentang energi gap 1-5 eV. Pada penelitian ini telah dibuat lapisan tipis dengan menggunakan metode evaporasi *Flash* dari butiran-butiran quarternair material CuGaSeTe and $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ yang dievaporasi agar menempel di substrat kaca. Setelah lapisan tipis diperoleh kemudian dilakukan karakteristik optik dan listrik lapisan tipis tersebut. Spektroskopi *X-Ray Diffraction (XRD)* digunakan untuk memperoleh parameter kisi dan struktur kristal lapisan tipis tersebut. Hasil *XRD* memperlihatkan bahwa struktur lapisan tipis CuGaSeTe and $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ adalah chalcopyrite. Koefisien absorpsi dan energi gap lapisan tipis dihitung dari pola kurva transmitansi dan reflektansi hasil pengukuran difraktometer *UV-VIS*. Dengan menggunakan *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)*, komposisi lapisan tipis dapat diketahui, sedangkan dengan menggunakan *Hall Effect* dapat dihitung resistivitas, mobilitas dan pembawa muatan mayoritas lapisan tipis CuGaSeTe and $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$.

Abstract

Quarternair CuGaSeTe and $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ Thin Films Fabrication Using Flash Evaporation. Quarternair materials CuGaSeTe and $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ are the basic materials to solar cell fabrication. These materials have high absorption coefficients around $10^3 - 10^5 \text{ cm}^{-1}$ and band gap energy in the range of 1-5 eV. In this research, the films were made by flash evaporation method using quarternair powder materials of CuGaSeTe and $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ to adhere in a glass substrate. After the films were obtained, the properties of these films will be characterized optically and electrically. The lattice parameter of the films and the crystalline film structure were obtained using X-Ray Diffraction (XRD) spectroscopy. The XRD results show that the quarternair CuGaSeTe and $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ films have a chalcopyrite structure. The absorption coefficient and the band gap energy of the films were calculated using transmittance and reflectance patterns that measured using UV-VIS Diffractometer. The films composition can be detected by using the Energy Dispersive Spectroscopy (EDS), while the films resistivity, mobility and the majority carrier of the films were obtained from Hall Effect experiments.

Keywords: ternair, quarternair, flash evaporation, crystalline lattice parameter, chalcopyrite

1. Pendahuluan

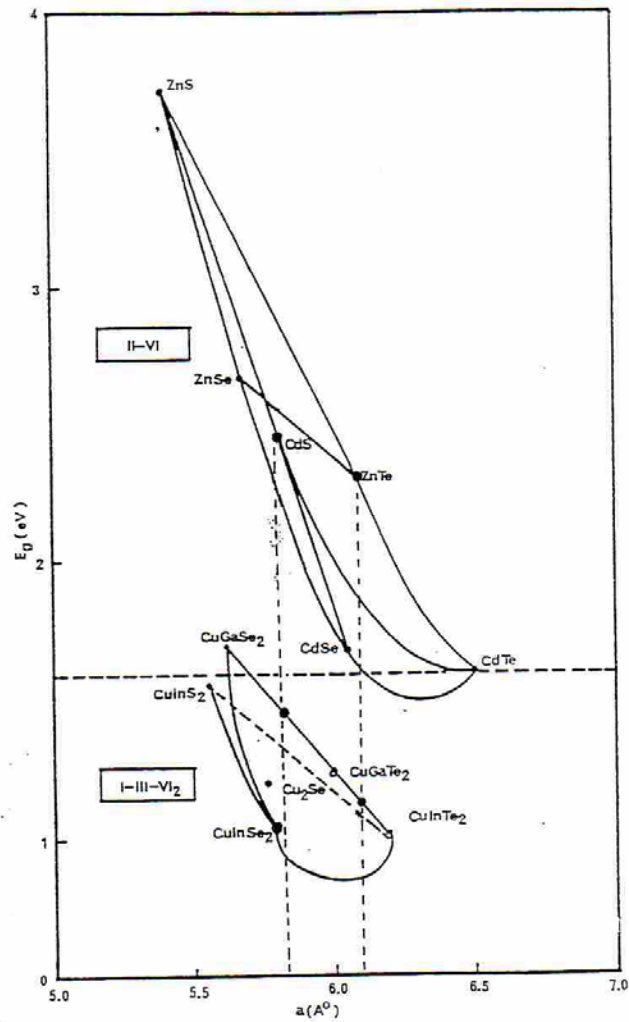
Struktur divais solar sel ada yang terdiri dari divais solar sel *homojunction* dan divais solar sel *heterojunction*. Struktur divais solar sel *heterojunction* adalah gabungan antara dua macam material dasar solar sel yang berbeda, sedangkan struktur divais solar sel *homojunction* adalah gabungan dua macam material dasar solar sel yang sama. Material dasar solar sel tersebut diatas ada yang bertipe n dan ada yang bertipe p. Gambar 1 memperlihatkan kemungkinan divais solar sel *heterojunction* bisa digabungkan antara material I-III-VI₂ dan material II-VI.

Gambar tersebut memperlihatkan kemungkinan suatu material dasar solar sel dikombinasikan dengan material dasar solar sel yang lain, misalnya material I-III-VI₂ CuInSe_2 dikombinasikan dengan material II-VI CdS , kedua material CuInSe_2 dan material CdS mempunyai parameter kisi yang harganya hampir sama. Sedangkan material dasar solar sel yang lain yang dapat digabungkan adalah kombinasi CuGaSeTe dengan CdS dan kombinasi $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ dengan ZnTe [1,2].

Material quarternair CuGaSeTe dan $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ adalah merupakan kombinasi material ternair CuGaSe_2 ,

CuGaTe₂ dan CuInTe₂. Material CuGaSeTe terletak antara material CuGaSe₂ dan CuGaTe₂, sedangkan material CuGa_{0.5}In_{0.5}Te₂ terletak antara material CuGaTe₂ dan CuInTe₂. Pada material CuGa_(2-x)Te_x dengan memberi nilai $x = 1$, maka akan didapat material CuGaSeTe, sedangkan material CuGa_{0.5}In_{0.5}Te₂ didapat dari material CuGa_xIn_yTe₂ dengan nilai $x = y = 0.5$. Bagian bawah Gambar 1 diperlihatkan diagram energi sebagai fungsi parameter kisi untuk material I-III-IV₂,

dan kedua material quarternair tersebut diatas terletak dalam satu garis lurus. Untuk membuat material quarternair tersebut, maka perlu dipahami benar mengenai sifat-sifat atau parameter-parameter yang dimiliki oleh material ternair CuGaSe₂, CuGaTe₂ dan CuInTe₂, seperti diagram fase, titik didih dan parameter kisi. Parameter kristal dari material ternair tersebut dapat dilihat pada Tabel 1 [3-6].



Gambar 1. Diagram energi material I-III-IV₂ dan material II-VI

Tabel 1. Parameter kristal dari CuGaSe₂, CuGaTe₂ dan CuInTe₂

Parameter	CuGaSe ₂	CuGaTe ₂	CuInTe ₂
T _f (°C)	1040	870	780
a (Å)	5.607	5.994	6.167
c (Å)	10.99	11.91	12.34
c/a	1.96	1.897	2.00

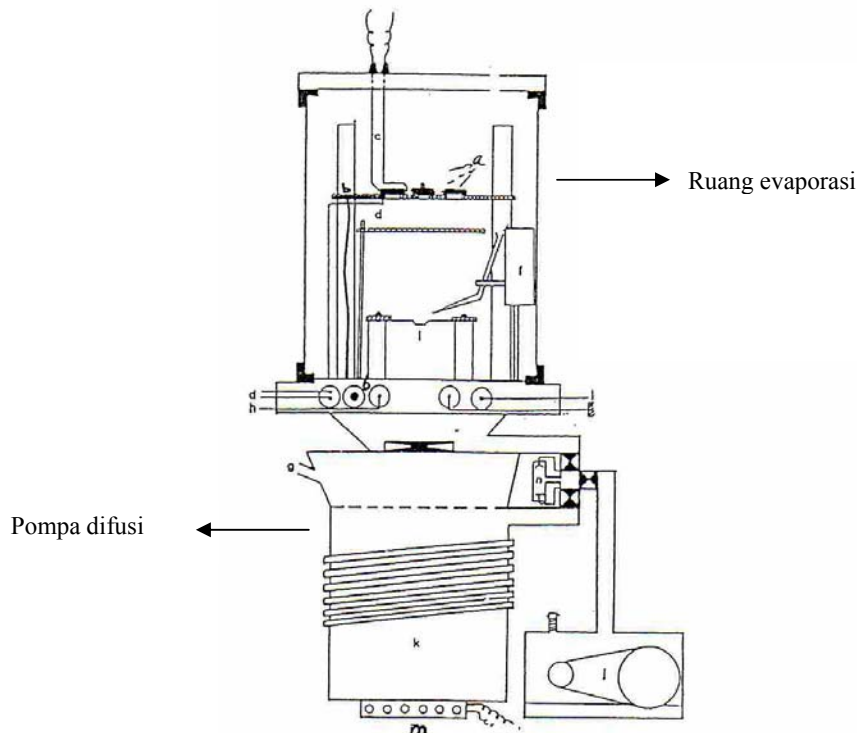
2. Metodologi

Pembuatan material dasar solar sel quarternair CuGaSeTe dan $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$, sudah banyak dilakukan orang terutama dengan cara evaporasi *Flash* [7,8]. Material quarternair CuGaSeTe adalah turunan atau kombinasi antara material CuGaSe_2 dengan CuGaTe_2 sedangkan material quarternair $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ adalah turunan atau kombinasi antara material CuGaTe_2 dengan CuInTe_2 .

Pada penelitian disini akan dibuat lapisan tipis quarternair material CuGaSeTe dan $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ dengan cara evaporasi *Flash*. Peralatan utama pada evaporasi *Flash* yaitu terdiri dari; ruang evaporator dengan ukuran tinggi 25 cm dan diameter 20 cm, pompa difusi yang mampu memvakumkan ruang evaporator sampai dengan 10^{-7} Torr dan pompa vakum biasa yang bisa membantu memvakumkan ruang evaporator sampai dengan 10^{-2} Torr. Selain itu didalam ruang evaporator ada dua peralatan penting yang lain yaitu tabung vibrasi (*vibrator*) dengan ukuran tinggi 7 cm dan diameter 3 cm yang fungsinya sebagai tempat sampel yang akan dievaporasikan, *creuset* atau tempat untuk memanaskan sampel berbentuk kotak dengan ukuran panjang 2 cm

lebar 0.75 cm dan tinggi 1 cm dan kaca substrat dengan ukuran 1 cm x 2 cm yang terbuat dari kaca pireks yang berfungsi sebagai tempat menempelnya lapisan tipis yang diletakkan diatas *creuset* dengan ketinggian 15 cm. Gambar 2 memperlihatkan peralatan evaporasi *Flash* [9].

Sebelum proses evaporasi dilakukan, ruang evaporator harus dibersihkan dahulu supaya tidak terkontaminasi dengan material lain yang kemungkinan material evaporasi sebelumnya menempel di dinding ruang evaporator sebelah dalam. Substrat yang akan digunakan juga harus dicuci dahulu dengan deterjen kemudian dibilas dengan air murni dan alkohol. Sampel berupa powder atau bubuk dengan ukuran 50 μm sampai 250 μm ditempatkan didalam *vibrator*, kemudian *vibrator* digetarkan dengan kontrol maka *vibrator* akan bergetar dan sampel akan turun butir demi butir jatuh ke *creuset* dan sampel akan menguap karena *creuset* sudah dipanaskan lebih dahulu sekitar 1500 °C. Proses evaporasi memakan waktu antara 15 menit sampai 30 menit tergantung jumlah material yang dimasukkan didalam *vibrator* dan saat evaporasi berlangsung substrat dipanaskan bervariasi dari temperatur 153 °C sampai dengan 389 °C.



Gambar 2. Peralatan evaporasi *Flash*

3. Hasil dan Pembahasan

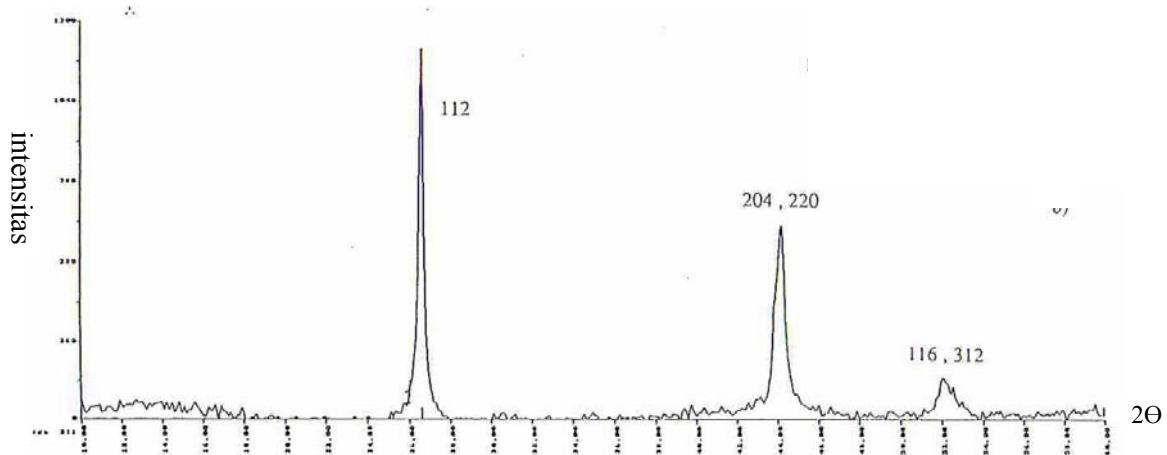
Dari proses evaporasi dihasilkan suatu bentuk lapisan tipis yang menempel di substrat kaca yang berwarna keabu abuan dan transparan. Lapisan tipis ini kemudian dikarakterisasi dengan karakterisasi optik dan karakterisasi elektrik.

Karakterisasi optik meliputi pengukuran dengan *X-Ray Diffraction (XRD)*, yaitu untuk mengetahui struktur kristal. Keluaran dari *XRD* berupa puncak-puncak orientasi kristal yang dalam hal ini ditunjukkan oleh indeks *Miller*, antara lain; [112], [204/220], [312] dan [424]. Gambar 3 menunjukkan salah satu tipe hasil keluaran dari *XRD*. Dengan mengetahui puncak-puncak orientasi kristal dan jarak antara puncak yang satu terhadap yang lain maka bisa dihitung besarnya konstanta kisi *a*, *b* dan *c*. Karena struktur quarternair CuGaSeTe dan $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ adalah chalcopyrite maka harga konstanta kisi $a = b$ dan $c/a \approx 2$. Pada Tabel 2 dan Tabel 3 diperlihatkan hasil hitungan konstanta kisi *a*, *c* dan *c/a*. Hasil perhitungan *c/a* dari dua quarternair

tersebut ternyata harganya hampir seluruhnya mendekati atau lebih sedikit dengan angka 2, yang membuktikan bahwa struktur material tersebut adalah chalcopyrite.

Karakterisasi optik selanjutnya adalah dengan menggunakan *Energy Dispersive Spectrometry (EDS)*, yaitu alat untuk mengetahui komposisi dari material yang hasilnya bisa dilihat pada Tabel 4. Dari pengukuran beberapa sampel didapatkan komposisi dari material mendekati stokiometrik, misalnya sampel Qb, Qc dan Q5.

Karakterisasi optik yang lain adalah dengan mengukur reflektansi dan transmitansi dari film tipis yaitu dengan menggunakan peralatan Difraktometer UV-VIS, maka akan didapatkan suatu pola yang berupa puncak dan lembah yang dapat dilukiskan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 3. Keluaran XRD dari CuGaSeTe

Tabel 2. Parameter kisi dari kristal CuGaSeTe

Sampel	a (Å)	c (Å)	c/a
Q1	5.8356	11.4471	1.9616
Q2	5.8011	11.5548	1.9918
Q3	5.8114	11.5156	1.9816
Q4	5.7162	11.8668	2.0760
Q5	5.8238	11.5539	1.9839
Q6	5.8251	11.5113	1.9762

Tabel 3. Parameter kisi dari kristal $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$

Sampel	a (Å)	c (Å)	c/a
Qa	6.0683	12.3898	2.0417
Qb	6.1031	12.2371	2.0051
Qc	6.1191	12.1961	1.9931
Qd	6.0956	12.2080	2.0028
Qe	6.1155	12.1638	1.9890
Qf	6.1301	12.1869	1.9880

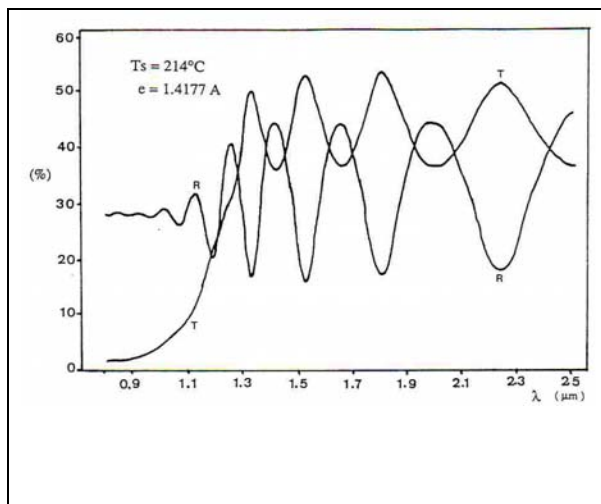
Tabel 4. Komposisi material (a). $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$, (b). CuGaSeTe

Sampel	Cu (%)	Ga (%)	In (%)	Te (%)
Qa	27.2	10.2	11.3	51.3
Qb	25.4	12.9	12.0	49.7
Qc	25.3	12.9	12.1	49.7
Qd	25.9	13.6	11.5	49.0
Qe	27.5	12.0	11.8	48.7
Qf	27.8	12.1	11.6	48.5

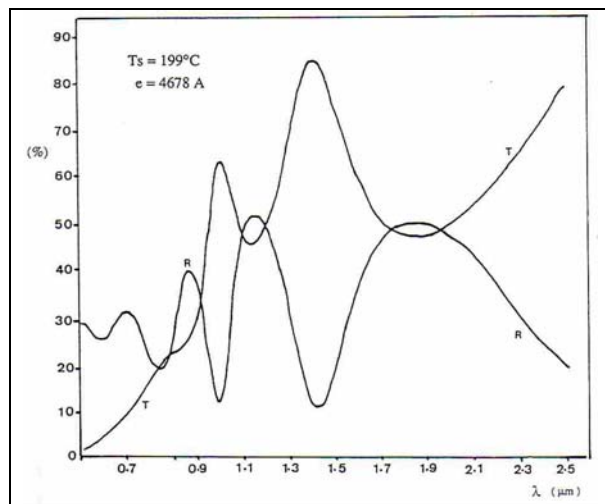
(a)

Sampel	Cu (%)	Ga (%)	In (%)	Te (%)
Q1	26.3	23.6	27.3	22.8
Q2	24.5	24.8	27.3	23.4
Q3	25.4	24.8	27.4	22.4
Q4	28.3	25.8	25.3	20.6
Q5	24.4	24.4	27.2	24.0
Q6	26.1	23.7	25.9	24.3

(b)



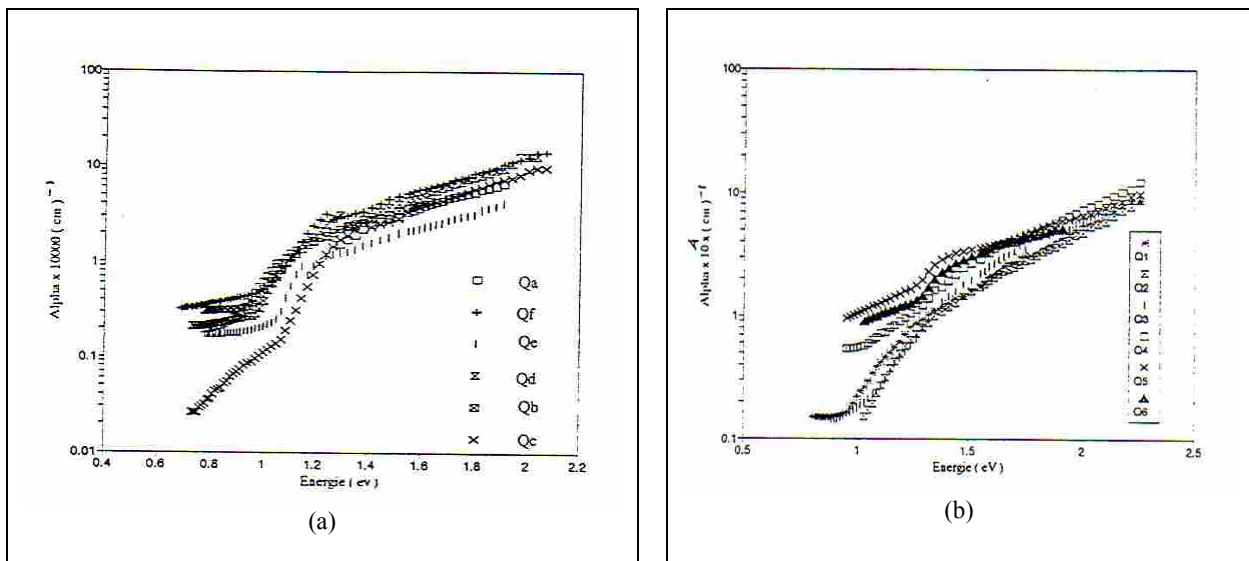
Gambar 4. Pola transmisi dan reflektansi sampel Qb



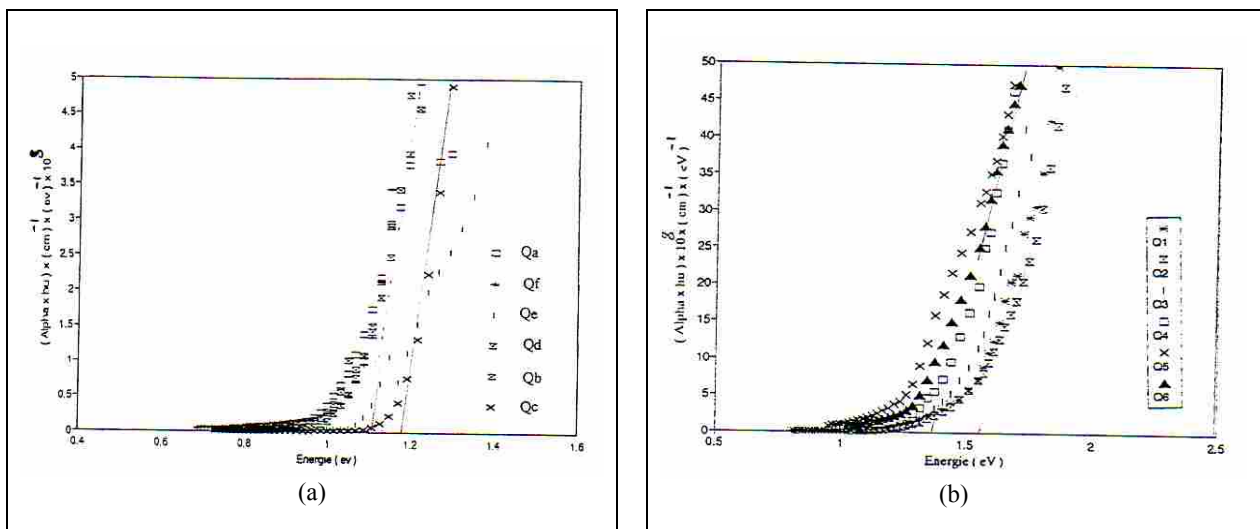
Gambar 5. Pola transmisi dan reflektansi sampel Q3

Dengan menggunakan pendekatan Swanepoel [10], maka berdasarkan pola transmisi dan reflektansi bisa dihitung besarnya koefisien absorpsi dan energi gap yang hasilnya ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6 diperlihatkan harga koefisien absorpsi sebesar 10^{-3} cm^{-1} sampai 10^{-5} cm^{-1} , hal ini menunjukkan bahwa harga tersebut cukup tinggi dibandingkan dengan bahan dasar solar sel yang lain, misalnya silikon mempunyai koefisien absorpsi sebesar 10^{-2} cm^{-1} sampai 10^{-3} cm^{-1} [11]. Sedangkan harga energi gap yang didapat adalah antara 1 eV sampai dengan 1.2 eV untuk material $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ dan 1.4eV sampai dengan 1.5 eV untuk material CuGaSeTe yang diperlihatkan pada Gambar 7.

Karakterisasi listrik yaitu dengan menggunakan peralatan efek Hall dan dari peralatan tersebut dapat dihitung besarnya resistivitas, mobilitas dan mayoritas pembawa muatan. Tabel 5 dan Tabel 6 memperlihatkan harga-harga tersebut diatas. Dari Tabel 5 menunjukkan besar mayoritas pembawa muatan $p = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ sampai $4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ dan harga mobilitasnya relatif rendah yaitu antara $0.9 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ sampai $36 \text{ cm}^2/\text{V.s}$. Sedangkan Tabel 6 menunjukkan bahwa pada saat proses evaporasi dengan temperatur substrat $T_s = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ didapatkan mobilitas yang cukup besar yaitu $400 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ dan pembawa muatannya sebesar $p = 7 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$



Gambar 6. Koefisien absorpsi (a) $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$, (b) CuGaSeTe .



Gambar 7. Energi gap (a) $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$, (b) CuGaSeTe .

Tabel 5. Besar resistivitas, mobilitas dan jumlah pembawa muatan material $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$

Sampel	Resistivitas ($\Omega - \text{cm}$)	Mobilitas $\mu\rho$ ($\text{cm}^2/\text{V.s}$)	Pembawa muatan ρ (cm^{-3})
Qb	0.171	17.1	(2.13×10^{18})
Qc	0.017	36.8	(9.92×10^{18})
Qd	0.196	2.7	(11.8×10^{18})
Qe	0.136	12.9	(3.55×10^{18})
Qf	0.165	0.875	(43.3×10^{18})

Tabel 6. Besar resistivitas, mobilitas dan jumlah pembawa muatan material CuGaSeTe .

Sampel	Resistivitas ($\Omega - \text{cm}$)	Mobilitas $\mu\rho$ ($\text{cm}^2/\text{V.s}$)	Pembawa muatan ρ (cm^{-3})
Q1	0.28	137	1640×10^{14}
Q2	53.8	7.9	146×10^{14}
Q3	2232.3	392.8	0.07×10^{14}
Q4	450.5	93.4	149×10^{14}
Q5	50.5	20.7	59.9×10^{14}
Q6	3.4	7.0	2640×10^{14}

4. Kesimpulan

Dari pengukuran karakterisasi optik dihasilkan bahwa keluaran dari XRD didapatkan tiga puncak utama orientasi kristal yaitu puncak-puncak [112], [204/220] dan [312], yang menunjukkan bahwa material lapisan tipis yang didapatkan seperti yang diharapkan. Dari hitungan parameter kisi kristal didapatkan a, c dan $c/a \approx 2$, ini menunjukkan bahwa struktur kristal adalah *chalcopyrite*. Energi gap yang didapatkan antara 1 eV sampai 1.5 eV, hal ini bisa dimungkinkan bahwa material quarternair tersebut bisa digabungkan atau dikombinasikan dengan material dasar solar sel yang lain misalnya CdS dengan material CuGaSeTe dan ZnTe dengan $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ sehingga terbentuk divais solar sel. Dari pengukuran dengan EDS didapatkan komposisi material sedikit kurang memuaskan karena hanya tiga material saja yaitu sampel Qb, Qc dan Q5 yang relative mendekati stokiometrik. Sedangkan pengukuran karakterisasi elektrik didapatkan mobilitas untuk material $\text{CuGa}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{Te}_2$ sangat lemah yaitu antara $0.9 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ sampai $36 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ dengan jumlah mayoritas muatan antara $p = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ sampai $p = 4 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, hal ini menunjukkan bahwa masih perlu penelitian lebih lanjut supaya didapatkan mobilitas yang lebih tinggi. Sebaliknya untuk material CuGaSeTe didapatkan mobilitasnya cukup tinggi yaitu material

Q1, Q3 dan Q4 harganya adalah $137 \text{ cm}^2/\text{V.s}$, $392 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ dan $93 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ dan mayoritas pembawa muatan dengan order 10^{14} cm^{-3} , ini menunjukkan bahwa material ini sangat ideal untuk digabungkan dengan CdS sehingga bisa dibuat divais solar sel heterojunction.

Daftar Acuan

1. B. Mohamed, These 3 eme Cycle U.S.T.L, Universite Montpellier II, France, 1991.
2. S. U. Bintang, These 3 eme Cycle U.S.T.L, Universite Montpellier II, France, 1991.
3. L.S. Palatnik, E.K. Belova, Neorgan. Mater. 3 (1967) 2194.
4. L.S. Palatnik, E.I. Rogacheva, Sov. Phys. Dokl. 12 (1967) 503.
5. W. H. Bloss, H.W. Schock, Proceedings of the 8th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Kluwer, Dordrecht, 1988, p.1571.
6. B. Dimmler, H. Dittrich, R. Menner, H.W. Schock, 19th IEEE Photov. Spec. Conf., IEEE, New York, 1987, p. 1454.
7. R. D. L. Kristensen, S. N. Sahu, D. Haneman, Solar Eng. Mat. 17 (1988) 329.
8. G. Salviati, D. Seuret, Thin Solid Film 104 (1983) L 75.

9. A. H. Soepardjo, These 3^{eme} Cycle U.S.T.L, Universite Montpellier II, France, 1993.
10. R. Swanepoel, J. Phys. E. Instru. 16 (1983)1214.
11. J. L. Shay, J. H. Wernick, Ternary Chalcopyrite Semiconductor: Growth, Electronic Properties and Application, Pergamon Press, New York, 1976.