

# KARAKTERISASI STRUKTUR KRISTAL DAN STRUKTUR MIKROPADUAN BAHAN SEMIKONDUKTOR $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$

Wirjoadi, Bambang Siswanto

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan –BATAN  
Jl. Babarsari Kotak Pos 6101 Ykbb, Yogyakarta

## ABSTRAK

*KARAKTERISASI STRUKTUR KRISTAL DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN BAHAN SEMIKONDUKTOR  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$ . Telah dilakukan preparasi paduan bahan semikonduktor  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  yang dapat digunakan sebagai bahan target (CISS) dengan teknik Bridgman. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh hasil paduan bahan Cu, In, Se dan S menjadi bahan untuk target  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  yang dipengaruhi oleh suhu dan waktu pemanasan. Bahan target dipanaskan pada suhu 350 °C, 980 °C dan 1.100 °C selama masing-masing 2, 1 dan 2 jam, kemudian didinginkan sampai suhu kamar. Hasil dari karakterisasi struktur kristal dengan XRD diperoleh bentuk kristal  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  yang terorientasi pada bidang (112), (204), (220), (116), (312), (316) dan (332). Karakterisasi struktur mikro dengan SEM menunjukkan bahwa morfologi permukaan yang terbentuk cukup homogen, sedangkan analisis komposisi unsur dengan EDS diperoleh hasil Cu = 28,11 %; In = 25,10 %; Se = 9,57 % dan S = 37,21 %.*

## ABSTRACT

*CHARACTERIZATION OF CRYSTAL AND MICROSTRUCTURE OF  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  SEMICONDUCTOR ALLOY MATERIAL. The semiconductor alloy material of  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  has been prepared by Bridgman technique. This can be used as a CISS target material. A  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  alloy target was made from Cu, In, Se and S material. The aim of the research is to obtain effect of temperature and heating time on the formation of  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  material. The material target were heated at 350 °C, 980 °C and 1.100 °C for 2, 1 and 2 hours respectively and then cooled down at room temperature. The crystal and micro structure were characterized using XRD and SEM, while the element composition was analyzed using EDS. The result shows that the crystal structure of  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  are oriented at (112), (204), (220), (116), (312), (316) dan (332) plane. The surface morphology is distributed homogenously with the element composition of Cu, In, Se and S are Cu = 28,11 %; In = 25,10 %; Se = 9,57 % and S = 37,21 %.*

## PENDAHULUAN

Pada tahun terakhir ini banyak dilakukan penelitian dan pengembangan pembuatan paduan bahan semi-konduktor, salah satunya adalah sel surya CIS. Selain sel surya berbasis CIS biasanya digunakan bahan semikonduktor murni yang diberi pengotor (dopan) bahan lain, sehingga nilai konduktivitasnya masih rendah. Untuk meningkatkan efisiensi dari sel surya ini digunakan bahan baru yaitu termasuk bahan dari konduktor yang dicampur dengan bahan semikonduktor. Dengan demikian efisiensi yang dihasilkan diharapkan juga lebih tinggi dari sel surya CIS<sup>[1]</sup>.

Salah satu bahan sel surya berbasis  $\text{CuIn}(\text{Se},\text{S})_2$  sampai saat ini masih terus diteliti, karena bahan tersebut memiliki energi gap yang berkaitan dengan efisiensi optimal sel surya. Bahan dari  $\text{CuInSe}_2$  (CIS) sebagai komponen sel surya mempunyai energi gap sekitar 1,01 eV. Penambahan dopan Galium pada CIS menjadi paduan  $\text{CuIn}(\text{Ga})\text{Se}_2$

mempunyai energi gap dari 1,01 eV hingga energi gap  $\text{CuGaSe}_2$  (CGS) sebesar 1,68 eV. Oleh karena itu dapat direalisasikan bahan sel surya  $\text{Cu}(\text{In},\text{Ga})\text{Se}_2$  (CIGS) dengan energi gap yang berkaitan dengan efisiensi optimal. Untuk bahan  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  adalah termasuk suatu bahan fotovoltaik yang mempunyai efisiensi cukup besar, secara teori material ini mempunyai efisiensi 20 %<sup>[2]</sup>.

Dalam penelitian ini telah dilakukan preparasi paduan bahan dari Cu, In, Se dan S menjadi bahan target  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  atau bahan target (CISS) dengan teknik Bridgman. Pemilihan bahan  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  ini nantinya akan digunakan untuk membuat deposisi lapisan tipis sebagai salah satu komponen dasar sel surya. Teknik Bridgman ini dapat digunakan untuk menumbuhkan kristal dalam bentuk masif yaitu dengan cara melelehkan paduan bahan serbuk Cu, In, Se dan S masing-masing dengan kemurnian 99,99 % di dalam tabung kuarsa yang divakumkan, kemudian dipanaskan bertahap

dengan alat pemanas (*furnace*). Untuk menumbuhkan kristal paduan bahan yang telah dipanaskan sesuai dengan titik leleh masing-masing unsur bahan berdasarkan pada keadaan suatu sistem keseimbangan dan suhu kritis suatu bahan seperti ditunjukkan pada diagram fasa. Diagram fasa ini menyatakan tentang keadaan keseimbangan suatu sistem, sehingga secara sistematis dapat memberikan informasi dalam menentukan paduan bahan dan suhu kritis bahan. Dengan menggunakan diagram fasa diharapkan dapat dipakai untuk mengetahui dalam merancang “peta” percobaan prosedur penumbuhan kristal, sehingga diperoleh hasil interpretasi optimum<sup>[3]</sup>.

Satu diantara parameter-parameter yang berpengaruh dalam penelitian ini adalah suhu dan waktu pemanasan. Paduan bahan semikonduktor target  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  atau (CISS) yang dibuat telah dipanaskan secara bertahap berturut-turut mulai dari suhu 40°C, suhu (40 - 350)°C selama 1 jam, suhu 350°C selama 2 jam, suhu (350 - 1.100)°C selama 1 jam, suhu 1.100°C selama 1 jam, kemudian suhu diturunkan dari (1.100-980)°C selama 1 jam, suhu 980°C selama 2 jam dan suhu (980 - 40)°C selama 3 jam. Kenaikan suhu diatur sedemikian rupa, sehingga dapat mengurangi kemungkinan timbulnya bahaya ledakan yang diakibatkan oleh unsur tertentu pada suhu kritisnya.

Karakterisasi struktur kristal paduan bahan  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  digunakan spektrometer difraksi sinar X (XRD), sehingga diharapkan akan diperoleh penumbuhan kristal tunggal yang sempurna dengan kemurnian tinggi. Untuk karakterisasi struktur mikro (morfologi permukaan) dari paduan bahan target  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  diamati dengan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dan komposisi unsur kimia secara kuantitatif maupun kualitatif digunakan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*)<sup>[4]</sup>.

## TATA KERJA

Dalam penelitian ini tahapan yang dilakukan meliputi persiapan bahan, pembuatan paduan bahan target dengan teknik Bridgman, pelaksanaan preparasi penumbuhan kristal, karakterisasi struktur kristal dan struktur mikro dari paduan bahan target

### Persiapan bahan dan pembuatan pelet

Bahan yang akan digunakan untuk pembuatan target adalah paduan bahan dari serbuk Cu, In, Se dan S masing-masing dengan kemurnian 99,99 %. Paduan dari ke empat bahan tersebut dicampur dan diaduk sampai merata, kemudian dimasukkan ke dalam alat pengepres untuk di pres

dengan beban tekan 500 kg/cm<sup>2</sup>. Hasil paduan bahan semikonduktor yang dicetak menjadi bentuk pelet  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  dengan ukuran diameter 13 mm dan tebal 2 mm.

### Pembuatan bahan target dengan teknik Bridgman.

Bahan semikonduktor  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  yang berbentuk pelet dimasukkan ke dalam tabung kaca kuarsa dengan ketebalan 2 mm, diameter dalam 12 mm dan diameter luar 16 mm. Kemudian tabung kaca kuarsa ditutup dengan mengelas diujung tabungnya, sehingga seperti bentuk kapsul. Selanjutnya tabung kaca kuarsa divakumkan dengan menggunakan pompa vakum rotari sampai tekanan vakumnya mencapai  $5 \times 10^{-4}$  Torr selama 4 jam. Untuk proses pengelasan tabung kuarsa yaitu ketika tekanan vakumnya sudah mencapai  $10^{-4}$  Torr. Tujuan pengelasan tabung kaca kuarsa ini agar ketika dilakukan pemanasan paduan bahan  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  yang berada di dalam tabung tidak bereaksi dengan oksigen, nitrogen dan gas lain yang tidak dikehendaki.

### Pelaksanaan preparasi penumbuhan kristal.

Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk penumbuhan kristal semikonduktor adalah dengan teknik Bridgman. Teknik penumbuhan kristal ini dalam bentuk masif yaitu dengan cara melelehkan bahan paduan  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  berbentuk pelet ini ke dalam tabung kuarsa yang telah divakumkan. Kemudian kapsul tabung kuarsa ini dipanaskan secara bertahap dalam alat pemanas (*furnace*) pada posisi horisontal. Dalam pemanasan dipilih posisi horisontal, karena gaya adhesi antara bahan paduan dengan dinding tabung kuarsa lebih kecil bila dibandingkan dengan posisi vertikal, sehingga kemungkinan terjadi retakan atau cacat kristal dapat dikurangi<sup>[5]</sup>. Satu diantara parameter yang berpengaruh dalam penumbuhan kristal adalah suhu dan waktu pemanasan. Untuk menentukan alur pemanasan paduan bahan semikonduktor, maka perlu diperhatikan diagram fasa ( $\text{Cu}_2\text{Se} - \text{In}_2\text{Se}$ ) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Dengan menggunakan diagram fasa ( $\text{Cu}_2\text{Se} - \text{In}_2\text{Se}$ ) ini diharapkan dapat dipakai sebagai acuan untuk memperoleh penumbuhan kristal dan memberikan informasi dalam menentukan paduan bahan dan suhu kritis bahan.

Berdasarkan informasi diagram fasa ( $\text{Cu}_2\text{Se} - \text{In}_2\text{Se}$ ) pada Gambar 1, maka untuk paduan bahan semikonduktor target  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  telah dipanaskan secara bertahap sesuai dengan alur pemanasan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



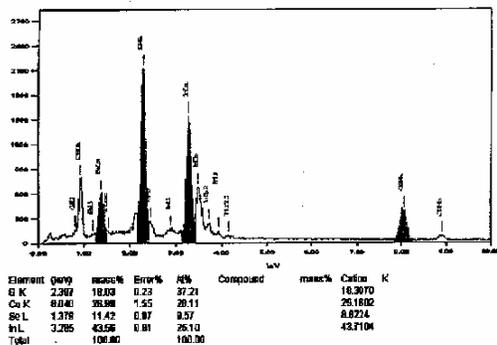
bidang kristal. Hasil karakterisasi struktur mikro (morfologi permukaan) paduan bahan semikonduktor target  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  diamati dengan SEM ditunjukkan pada Gambar 4.



**Gambar 4. Morfologi permukaan paduan bahan  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  dengan SEM (perbesaran 1.000 kali).**

Morfologi permukaan dari paduan bahan  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  hasil pengamatan dengan SEM (perbesaran 1.000 kali) tampak telah menunjukkan serpihan-serpihan atau butiran-butiran yang terdistribusi cukup homogen. Dengan demikian dari kehomogenan paduan bahan  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  akan menghasilkan pertumbuhan kristal yang berkualitas. Apabila paduan bahan semikonduktor target  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  dideposisikan pada permukaan substrat, maka akan menghasilkan lapisan tipis yang berkualitas dan dapat meningkatkan efisiensi.

Hasil komposisi unsur kimia paduan bahan semikonduktor target  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  dengan EDS ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 5. Grafik hubungan antara intensitas dengan energi hasil karakterisasi dengan EDS.**

Hasil untuk mengetahui apakah paduan bahan semikonduktor target  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  yang terbentuk tersebut benar-benar mengandung (CISS),

maka komposisi unsur paduan bahan telah diamati dengan menggunakan EDS. Dari karakterisasi komposisi kandungan unsur dengan EDS akan didapatkan grafik hubungan antara intensitas dengan energi. Spektrum yang dihasilkan EDS adalah hasil penembakan berkas elektron yang menumbuk target menyebabkan terjadinya eksitasi dan ionisasi, sehingga atom-atom yang berada pada target dalam kondisi tidak stabil. Agar supaya atom-atom menjadi stabil kembali, maka akan dilepaskan sejumlah energi yang diperlukan untuk mengembalikan elektron ke keadaan awal. Tiap-tiap atom akan mempunyai energi tertentu untuk masing-masing elektronnya, sehingga akan menyebabkan energi sinar-X yang dilepaskan juga mempunyai nilai energi (karakteristik) tertentu. Energi karakteristik sinar-X seperti inilah yang dapat menunjukkan komposisi unsur paduan bahan semikonduktor target (CISS) dengan teknik Bridgman. Hasil karakterisasi paduan bahan semikonduktor target  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  dengan EDS telah diperoleh persentase kandungan komposisi unsur dari  $\text{Cu}=28,11\%$ ;  $\text{In}=25,10\%$ ;  $\text{Se}=9,57\%$  dan  $\text{S}=37,21\%$  atau perbandingan mol unsur  $\text{Cu}:\text{In}:\text{Se}:\text{S} = 1:0,9:0,34:1,3$ . Dengan demikian hasil komposisi kandungan unsur dari preparasi paduan bahan target menjadi  $\text{CuIn}_{0,9}(\text{Se}_{0,17},\text{S}_{0,65})_2$ . Hal ini dimungkinkan karena pada saat preparasi seperti proses pengelasan tabung kuarsa membentuk kapsul masih muncul adanya unsur lain misalnya unsur oksigen ( $\text{O}_2$ ).

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakterisasi struktur kristal, struktur mikro dan pembahasan mengenai paduan bahan semikonduktor  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  yang telah dilakukan dengan teknik Bridgman, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pola difraksi sinar-X dari paduan bahan semikonduktor  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  yang dibuat dengan teknik Bridgman telah memperlihatkan terbentuknya penumbuhan kristal.
2. Hasil karakterisasi struktur kristal dengan XRD, telah diperoleh beberapa pertumbuhan kristal  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  yang terorientasi pada bidang (112); (204); (220); (116); (312); (316) dan (332).
3. Hasil karakterisasi struktur mikro (morfologi permukaan) dengan SEM (perbesaran 1000 kali) telah menunjukkan bahwa paduan bahan semikonduktor target  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  terdistribusi cukup homogen.
4. Hasil karakterisasi komposisi unsur dari paduan bahan  $\text{CuIn}(\text{Se}_{0,2},\text{S}_{0,8})_2$  yang diamati dengan EDS,

telah diperoleh persentase kandungan unsur Cu=28,11 %; In=25,10 %; Se=9,57 % dan S=37,21 % atau perbandingan mol unsur Cu : In : Se : S = 1 : 0,9 : 0,34 : 1,3.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Sdr Yunanto, J. Karmadi, Sumaryadi, Isak Anshori dan Sdri. Kristianingsih S yang telah membantu penelitian ini, terutama pada saat melakukan pemvakuman, pengelasan tabung kuarsa dan pembuatan pelet paduan bahan. Semoga segala bantuan dan budi baik Saudara mendapat balasan dari Allah SWT. Amien.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. BEKKER, V. ALBERTS, A.W. R. LEITCH, J. R. BOTHA, "Properties of CuIn(Se,S)<sub>2</sub> Thin Films Prepared by Two-Step Growth Processes", Thin Solid Film 431-432, (2003), 116-121.
- [2] JAN STERNER, "ALD Buffer Layer Growth and Interface Formation on Cu(In,Ge)Se<sub>2</sub> Solar Cell Absorbers", Acta Universitatis Upsaliensis, Uppsala, (2004).
- [3] JONG WON LIM, JAE JOON CHOI, IN HWAN CHOI, "Characteristics of Cu InSe Thin Film Prepared by Sputtering of Cu<sub>2</sub>Se-In<sub>2</sub>Se<sub>3</sub> Target", Journal of the Sputtering. (2003).
- [4] C. P. LIU, B. H. TSENG, "Preparation and Characterization of CuInS<sub>2</sub> Thin Films Completely Converted From CuInSe<sub>2</sub> by Sulfurization", Article in Press, Thin Solid Film xx (2004), 1-5
- [5] LS YIP, I. SHIH, CHAMPNESS, "Method of Avoiding Ampoule Adhesion of Ingot in Bridgman Growth CuInSe<sub>2</sub>", Journal of crystal growth, Nort Holand, K (2003).

---

## TANYA JAWAB

### Lely Susita

- *Dari uji struktur kristal, pada bahan Cu,In, Se dan S tentunya dapat diketahui sistem kristalnya. Apakah sistem kristal dari bahan Cu,In, Se dan S*

### Wirjoadi

- *Dari uji struktur kristal pada bahan Cu,In, Se dan S, maka sistem kristalnya sesuai dengan bahan Cu,In, Se dan S*