

DEPOSISI LAPISAN TIPIS (CdS) TIPE-N DI ATAS LAPISAN TIPIS (CuInSe₂) TIPE-P SEBAGAI PENYANGGA UNTUK SEL SURYA CIS

Wirjoadi, Yunanto, Bambang Siswanto

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan - BATAN Yogyakarta

ABSTRAK

DEPOSISI LAPISAN TIPIS (CdS) TIPE-N DI ATAS LAPISAN TIPIS (CuInSe₂) TIPE-P SEBAGAI PENYANGGA UNTUK SEL SURYA CIS. Telah dilakukan deposisi lapisan tipis (CdS) tipe-N di atas lapisan tipis (CuInSe₂) tipe-P pada substrat kaca, yaitu bagian dari komponen untuk sel surya CIS dengan teknik DC sputtering. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh deposisi lapisan tipis CdS di atas lapisan tipis CuInSe₂ terhadap tipe konduksi. Untuk mendapatkan lapisan tipis CdS yang optimal, maka telah dilakukan variasi parameter sputtering yaitu waktu deposisi 30; 60; 90 dan 120 menit, tekanan gas $1,1 \times 10^{-1}$; $1,2 \times 10^{-1}$; $1,3 \times 10^{-1}$ dan $1,4 \times 10^{-1}$ Torr, yang lain dibuat tetap yaitu suhu substrat 200 °C, tegangan 3 kV dan arus 40 mA. Pengukuran resistansi dan tipe konduksi digunakan probe empat titik. Dari hasil pengukuran diperoleh bahwa nilai resistansi terendah $R = 5,14 \text{ k}\Omega$, pada kondisi waktu deposisi 60 menit, tekanan gas $1,3 \times 10^{-1}$ Torr, suhu 200 °C, tegangan 3 kV dan arus 40 mA, kemudian tipe konduksinya adalah tipe-N. Struktur kristal lapisan terorientasi pada bidang (103), (004) dan (200) untuk penumbuhan kristal CuInSe₂, dan pada bidang (100), (110) dan (220) untuk penumbuhan kristal CdS. Hasil pengamatan struktur mikro dengan SEM diperoleh butiran-butiran yang terdistribusi cukup homogen, untuk lapisan CuInSe₂ mempunyai ketebalan lapisan 1,0 μm dan lapisan CdS mempunyai ketebalan 0,6 μm .

ABSTRACT

DEPOSITION OF THE N-TYPE (CdS) THIN FILM ON THE P-TYPE (CuInSe₂) THIN FILM AS A BUFFER FOR CIS SOLAR CELL. The N-type CdS thin films have been deposited on the P-type CuInSe₂ thin film on glass substrate by using DC sputtering technique. The purpose of this research is to obtain the influence of the CuInSe₂/CdS on the type conductivity of thin film. To obtain the optimum of CdS thin film, the sputtering parameters were varied. The time deposition is 30, 60, 90 and 120 minutes, the gas pressure is at 1.1×10^{-1} ; 1.2×10^{-1} ; 1.3×10^{-1} and 1.4×10^{-1} Torr and other parameters were kept constant at 200 °C, 3 kV and 40 mA. The resistance and type conductivity were measured by four point probe. The minimum resistance was achieved at the condition of time deposition 60 minutes, $1,3 \times 10^{-1}$ Torr of gas pressure, the resistance $R = 5,14 \text{ k}\Omega$ with the type of conductivity is N-type. Crystal structure of the layer is oriented at (103), (004) and (200) plane for CuInSe₂ layer and (100), (110), (220) plane for CdS layer. From microstructure analysis it was observed that the grains were distributed homogeneously with the thickness of CuInSe₂ and CdS layer were in order of 1.0 μm and 0.6 μm .

PENDAHULUAN

Salah satu bagian komponen yang penting dari sel surya CIS (CuInSe₂) adalah bagian komponen lapisan tipis tipe-N yang berada antara lapisan tipis tipe-N dengan lapisan tipis tipe-P. Lapisan tipis tipe-N ini dapat berfungsi sebagai lapisan tipis penyangga yang digunakan untuk mencegah inter difusi antara elektron lapisan tipis tipe-P dan lapisan tipis tipe-N. Proses inter difusi ini dapat menyebabkan penurunan tegangan fotovoltaiik. Bahan yang digunakan untuk lapisan tipis penyangga adalah bahan dari CdS^[1].

Lapisan tipis tipe-P bila disambungkan dengan lapisan tipis tipe-N yaitu dengan cara menumbuhkan lapisan tipis secara pelan-pelan, maka akan terjadi sambungan P-N. Pada ujung-ujung sambungan P-N diberi elektroda belakang dan elektroda depan, apabila elektroda tersebut dikenai cahaya, maka akan terjadi perpindahan *hole* dan elektron pada beban, sehingga akan dihasilkan tegangan fotovoltaiik. Tegangan fotovoltaiik ini tergantung dari bahan yang digunakan untuk membuat lapisan tipis. Bahan CdS (cadmium sulfide) merupakan paduan dua bahan semikonduktor Cd dan S yang membentuk konduksi tipe-N. Paduan CdS ini mempunyai titik leleh jauh lebih tinggi, bila dibandingkan dengan bahan Cd dan S masing-masing berdiri sendiri-sendiri dan mempunyai energi gap sekitar 2,4 eV. Bahan paduan CdS ini juga dapat dibuat sel surya CdS yang mempunyai efisiensi 8 %. Pada bagian sel surya CdS ini adalah lapisan tipis dari bahan yang berfungsi sebagai lapisan tipis tipe-N yang disambung dengan lapisan tipis tipe-P.^[2,3]

Bahan CuInSe₂ terdiri dari paduan tiga bahan yaitu dua bahan konduktor Cu dan In, sedangkan yang lain satu bahan semikonduktor tipe-P dari bahan Se. Perbandingan ketiga bahan tersebut ditentukan oleh jumlah atom dengan perbandingan 1 : 1 : 2. Paduan CuInSe₂ masih bersifat tipe-P dengan konduktivitas yang lebih tinggi, karena diberi unsur Cu dan In. Selain konduktivitasnya tinggi juga mempunyai absorpsi tinggi. Bentuk kristal paduan CuInSe₂ adalah tetragonal dengan energi gap sekitar 1,1 eV. Untuk membuat lapisan tipis CdS di atas lapisan tipis CuInSe₂ menggunakan teknik *DC sputtering*.^[4,5] Teknik sputtering ini dengan cara menggunakan ion Ar yang menumbuki permukaan target untuk melepas atom-atom permukaan target. Kemudian atom target akan terlepas menuju ke segala arah diantaranya menuju substrat. Banyaknya atom-atom yang terlepas menuju dan menempel ke substrat tergantung dari tegangan elektroda, waktu deposisi, tekanan gas dan suhu substrat. Untuk mendapatkan lapisan tipis CdS di atas lapisan tipis CuInSe₂ yang baik, telah dilakukan variasi waktu deposisi 30; 60; 90 dan 120 menit, tekanan gas $1,1 \times 10^{-1}$; $1,2 \times 10^{-1}$; $1,3 \times 10^{-1}$ dan $1,4 \times 10^{-1}$ Torr, pada suhu substrat 200 °C, tegangan 3 kV dan arus 40 mA.^[5]

TATA KERJA

Substrat yang digunakan untuk penumbuhan lapisan tipis CdS di atas lapisan tipis CuInSe₂ yaitu kaca preparat dengan ukuran (75 × 25) mm². Substrat kaca dicuci dengan air dan deterjen, kemudian dicuci lagi dengan alkohol yang ditempatkan pada alat ultrasonik untuk menghilangkan kotoran dan lemak yang menempel pada kaca. Setelah bersih substrat kaca dibersihkan dengan *tissue*, dikeringkan dalam oven 150 °C, berfungsi untuk menguapkan cairan yang menempel pada substrat, kemudian dibersihkan lagi dengan acetone, selanjutnya dimasukkan dalam pembungkus plastik klip.

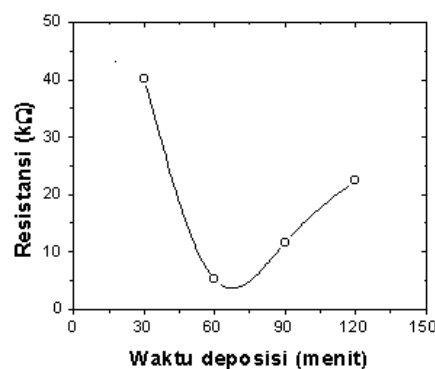
Untuk target CuInSe₂ dibuat khusus dari paduan bahan serbuk Cu, In dan Se dengan metode Bridgman. Target CuInSe₂ dan CdS dipres dengan gaya tekan 500 kg/cm² dan dicetak dalam bentuk pelet dengan diameter 60 mm dan tebal 2 mm. Target berbentuk pelet tersebut dipanaskan dalam oven pada suhu 600 °C selama 5 jam. Penekanan, pemadatan dan pemanasan ini bertujuan untuk memperkeras target, sehingga target yang akan diletakkan pada katoda dapat digunakan untuk deposisi lapisan tipis pada substrat dalam proses *DC sputtering*.

Target CuInSe₂ dan CdS secara bergantian diletakkan pada katoda, sedangkan substrat kaca yang akan dilapisi dengan lapisan tipis CuInSe₂ dan CdS diletakkan pada anoda. Anoda dan katoda posisinya saling berhadapan, elektroda tersebut diletakkan dalam tabung vakum reaktor plasma. Agar supaya terjadi proses *sputtering* dengan baik, maka tabung sputtering divakumkan dengan pompa turbo dengan tekanan sampai 5×10^{-5} Torr dan digunakan untuk membersihkan partikel-partikel yang tidak dikehendaki. Pada awalnya gas Ar dialirkan ke dalam tabung vakum melalui kran gas, sehingga tekanan gas di dalam tabung sputtering naik menjadi $1,1 \times 10^{-1}$ Torr. Pada bagian katoda didinginkan dengan air pendingin supaya suhu pada target tidak naik karena tertumbuk ion argon. Kemudian pada bagian anoda justru dipanaskan karena untuk memperbesar frekuensi getaran atom substrat. Apabila penyedia daya tegangan tinggi DC dihidupkan, maka gas argon yang ada antara dua elektroda akan terionisasi. Pada saat gas terionisasi, maka ion argon menumbuki target dan atom-atom target akan terpercik ke substrat kaca. Untuk mendapatkan lapisan tipis CdS di atas lapisan tipis CuInSe₂ yang mempunyai resistansi rendah, telah dilakukan variasi waktu deposisi (30; 60; 90 dan 120) menit, tekanan gas ($1,1 \times 10^{-1}$; $1,2 \times 10^{-1}$; $1,3 \times 10^{-1}$ dan $1,4 \times 10^{-1}$) Torr, sedangkan suhu substrat dibuat tetap 200 °C pada tegangan 3 kV dan arus 40 mA. Setelah diperoleh beberapa sampel lapisan tipis CdS di atas lapisan tipis CuInSe₂ dengan variasi waktu deposisi dan tekanan gas, kemudian akan dikarakterisasi. Untuk pengukuran resistansi digunakan ohm meter digital, untuk mengetahui tipe konduksi lapisan tipis digunakan probe empat titik, untuk pengamatan struktur kristal digunakan XRD, untuk pengamatan struktur mikro dan ketebalan lapisan tipis digunakan SEM.

PEMBAHASAN

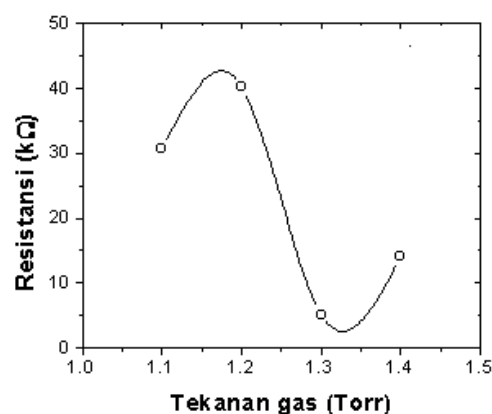
Hasil pengukuran sifat-sifat listrik atau nilai resistansi lapisan tipis CdS tipe-N di atas lapisan tipis CuInSe₂ tipe-P dengan variasi waktu deposisi, pada tekanan gas $1,3 \times 10^{-1}$ Torr, suhu 200 °C, tegangan 3 kV dan arus 40 mA ditunjukkan pada Gambar 1.

Waktu deposisi sangat mempengaruhi hasil ketebalan lapisan tipis, sedangkan ketebalan lapisan tipis tergantung dari banyaknya percikan atom-atom target dan jumlah percikan atom target tergantung dari jumlah ion dan energi ion Argon. Hasil nilai resistansi minimum lapisan tipis untuk variasi waktu deposisi dapat diketahui, apabila parameter *sputtering* lainnya yaitu (tekanan gas, suhu substrat, tegangan elektroda dan arus) ditentukan atau dibuat tetap. Pada saat waktu deposisi dinaikkan dari (30-60) menit, maka nilai resistansi mengalami penurunan dari $R = 40,2 \text{ k}\Omega$ menjadi $R = 5,14 \text{ k}\Omega$. Penurunan nilai resistansi ini dimungkinkan karena dengan bertambahnya waktu deposisi menyebabkan jumlah partikel yang tersputter per satuan luas juga akan meningkat. Kemudian kebolehhadrian dari atom-atom target CdS yang terdeposit pada permukaan lapisan tipis CuInSe₂ juga semakin besar, sehingga lapisan tipis yang terbentuk juga semakin rapat dan tebal. Dengan meningkatnya ketebalan lapisan tipis yang terbentuk, maka semakin banyak atom yang membentuk kristal. Apabila saat waktu deposisi dinaikkan lagi dari (60 - 120) menit, maka nilai resistansi lapisan akan mengalami kenaikan lagi dari $R = 5,14 \text{ k}\Omega$ menjadi $R = 22,4 \text{ k}\Omega$. Hal ini dimungkinkan karena terjadi renukleasi pada permukaan butiran-butiran yang tumbuh sebelumnya, sehingga ukuran butir cenderung lebih kecil dengan batas-batas butir bertambah, akibatnya nilai resistansi lapisan cenderung meningkat.



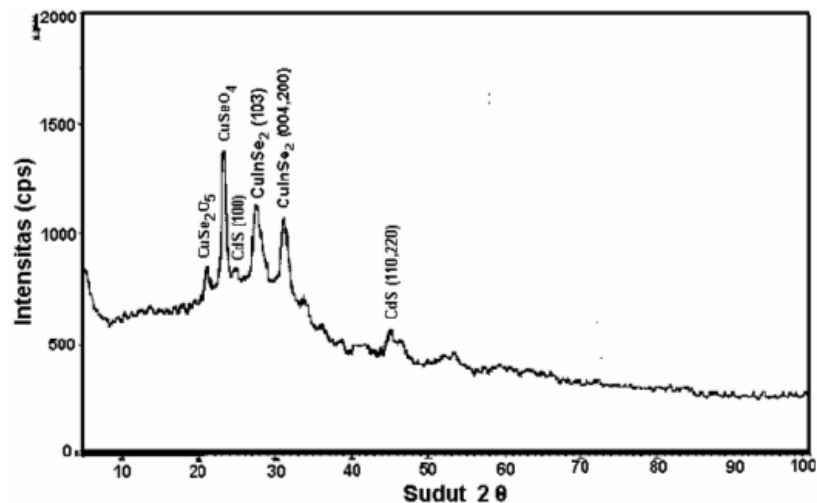
Gambar 1. Grafik nilai resistansi lapisan tipis CdS di atas CuInSe₂ vs waktu deposisi, pada tekanan gas $1,3 \times 10^{-1}$ Torr dan suhu 200 °C.

Berdasarkan pengukuran yang terbaca dalam alat ukur probe empat titik, maka lapisan tipis CdS yang terbentuk menunjukkan bahwa lapisan tersebut tipe konduksinya adalah tipe-N sesuai dengan tipe target CdS yang dideposisikan. Hasil pengukuran sifat listrik atau nilai resistansi lapisan tipis CdS tipe-N di atas lapisan tipis CuInSe₂ tipe-P dengan variasi tekanan gas, pada waktu deposisi 60 menit, suhu 200 °C, tegangan 3 kV dan arus 40 mA ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik nilai resistansi lapisan tipis CdS di atas CuInSe₂ vs tekanan gas, pada waktu deposisi 60 menit dan suhu 200 °C.

Untuk mengetahui perubahan tekanan gas Ar yang dialirkan ke dalam tabung sputtering diatur dengan menggunakan alat *flow meter*. Pada saat aliran gas Ar dinaikkan dari tekanan gas $1,1 \times 10^{-1}$ Torr sampai $1,2 \times 10^{-1}$ Torr, maka nilai resistansi juga mengalami kenaikan dari $R = 30,7 \text{ k}\Omega$ menjadi $R = 40,2 \text{ k}\Omega$. Hal ini dimungkinkan karena dengan naiknya tekanan gas, maka akan semakin banyak atom-atom gas yang terionisasi. Ion-ion Ar yang berasal dari gas Ar sebelum menumbuki target, masing-masing ion saling bertumbukan sendiri, sehingga energi ion Ar yang akan menumbuk target menjadi berkurang. Selanjutnya dengan berkurangnya energi ion Ar, maka percikan atom dari target yang terpercik menjadi berkurang dan lapisan yang terbentuk sangat tipis sekali, sehingga nilai resistansinya menjadi naik. Apabila tekanan gas Ar dinaikkan menjadi $1,3 \times 10^{-1}$ Torr, maka gas Ar yang terionisasi juga semakin meningkat dan energi ion-ion Ar yang menumbuki target juga semakin banyak. Peningkatan percikan atom dari target ini akan menambah ketebalan lapisan tipis hasil sputtering, sehingga diperoleh hasil nilai resistansi turun menjadi $R = 5,14 \text{ k}\Omega$. Kemudian tekanan gas dinaikkan lagi menjadi $1,4 \times 10^{-1}$ Torr, maka hasil yang diperoleh nilai resistansi lapisan tipis dari proses sputtering naik lagi menjadi $R = 14,2 \text{ k}\Omega$. Perubahan nilai resistansi ini dimungkinkan karena dengan naiknya tekanan gas, maka atom-atom gas Ar yang terionisasi juga semakin banyak dan ion-ion Ar sebelum menumbuk target juga saling bertumbukan sendiri, sehingga energi ion Ar yang menumbuk target akan semakin berkurang menyebabkan nilai resistansi naik. Dengan demikian semakin banyak tekanan gas dinaikkan, maka atom gas yang dialirkan dalam tabung sputtering semakin meningkat dan energi ion-ion Ar yang menumbuki target juga naik, sehingga akan menambah ketebalan lapisan tipis hasil proses sputtering.



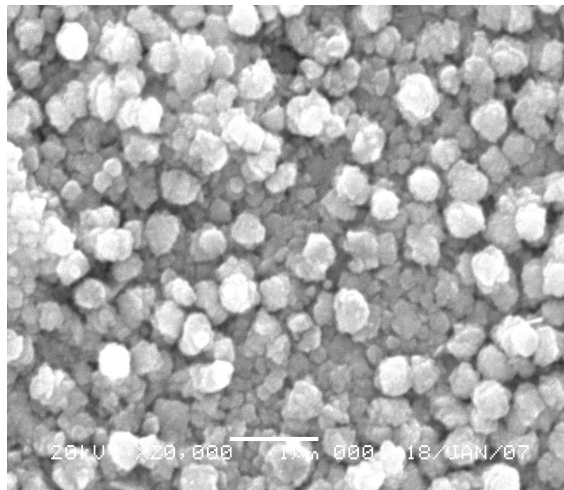
Gambar 3. Struktur kristal lapisan tipis CdS di atas lapisan CIS dengan XRD.

Hasil karakterisasi struktur kristal dari lapisan tipis CdS tipe-N di atas lapisan tipis CuInSe₂ tipe-P pada tekanan gas $1,3 \times 10^{-1}$ Torr, waktu deposisi 60 menit, suhu 200 °C, tegangan 3 kV dan arus 40 mA diamati dengan difraksi sinar X (XRD) ditampilkan pada Gambar 3.

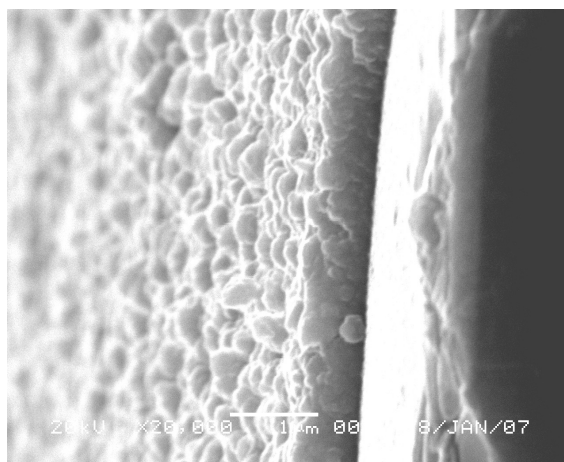
Berdasarkan analisis data pola difraksi sinar X pada Gambar 3, terlihat bahwa dari hasil deposisi lapisan tipis CdS di atas lapisan CuInSe₂ diperoleh beberapa puncak pertumbuhan kristal yang terorientasi pada bidang (*h k l*). Untuk puncak pertumbuhan kristal CuInSe₂ dari hasil data XRD terorientasi pada bidang (103) dengan sudut $2\theta = 27,6916^\circ$, terorientasi pada bidang (004) dan (200) dengan sudut $2\theta = 31,2159^\circ$. Apabila data dari XRD dibandingkan dengan data dari JCPDS, maka puncak pertumbuhan kristal CuInSe₂ mengalami pergeseran sudut 2θ yaitu $27,831^\circ$ dan $30,955^\circ$. Kemudian untuk puncak pertumbuhan kristal CdS dari data XRD terorientasi pada bidang (100) dengan sudut $2\theta = 24,820^\circ$, terorientasi pada bidang (110) dan (220) dengan sudut $2\theta = 45,055^\circ$. Apabila data dari XRD dibandingkan dengan data dari JCPDS juga mengalami pergeseran sudut 2θ yaitu $24,925^\circ$ dan $43,905^\circ$. Pergeseran sudut 2θ dari pertumbuhan kristal CuInSe₂ dan pertumbuhan kristal CdS ini disebabkan adanya perbedaan perlakuan panas. Selain itu juga muncul puncak-puncak pertumbuhan kristal CuSe₂O₅ dan CuSeO₄ yang mempunyai jarak antar bidang 4,2012 Å dan 3,8012 Å dengan sudut 2θ masing-masing $21,130^\circ$ dan

23,384°. Dari hasil struktur kristal dengan XRD masih ada unsur O yang terdapat pada pertumbuhan kristal CuSe₂O₅ dan CuSeO₄, hal ini disebabkan masih ada sisa-sisa unsur O yang terdapat dalam tabung pada saat pembuatan paduan. Keberadaan unsur O disini disebabkan oleh turunnya tingkat kevakuman dalam tabung yaitu dari tekanan gas 10⁻⁵ Torr menjadi 10⁻⁴ Torr. Unsur O mulai mudah bereaksi dengan logam maupun semikonduktor yaitu Se dan Cu mulai suhu 200 °C sampai suhu 1.000 °C, apalagi pada saat pembuatan paduan dipanasi sampai suhu 1.000 °C.

Hasil karakterisasi struktur mikro dari lapisan tipis CdS tipe-N di atas lapisan tipis CuInSe₂ tipe-P pada kondisi tekanan gas $1,3 \times 10^{-1}$ Torr, waktu deposisi 60 menit, suhu 200 °C, tegangan 3 kV dan arus 40 mA diamati dengan SEM. Struktur mikro untuk morfologi permukaan lapisan tipis (perbesaran 20.000 kali) ditampilkan pada Gambar 4 dan tampak lintang untuk mengetahui ketebalan lapisan (perbesaran 20.000 kali) ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Morfologi permukaan lapisan tipis CdS di atas lapisan CuInSe₂ dengan SEM (perbesaran 20.000 kali).



Gambar 5. Struktur mikro tampak lintang lapisan tipis CdS di atas lapisan CuInSe₂ dengan SEM (perbesaran 20.000 kali).

Pada Gambar 4 ditampilkan morfologi permukaan lapisan tipis CdS dideposisikan di atas lapisan tipis CuInSe₂ pada substrat kaca. Pada foto morfologi permukaan tersebut tampak kumpulan butiran-butiran dari kristal CdS dengan ukuran butir yang hampir sama, sehingga kumpulan kristal CdS tersebut dapat dikatakan tersusun cukup homogen. Homogenitas dari butiran-butiran lapisan tipis yang terbentuk sangat penting untuk penyangga dalam pembuatan sel surya. Lapisan tipis penyangga CdS disini untuk mencegah inter difusi lapisan tipis di atas dan di bawah lapisan tipis CdS yaitu lapisan tipis ZnO dan lapisan tipis CuInSe₂. Pada Gambar 5 ditampilkan

tampang lintang lapisan tipis CdS di atas lapisan CuInSe₂ pada substrat kaca. Pada foto bagian paling kiri agak halus adalah substrat kaca, kemudian sebelah kanannya yang tumbuh pulau-pulau kecil adalah lapisan tipis CuInSe₂ dengan ketebalan 1,0 μm , sedangkan lapisan yang berwarna putih adalah lapisan tipis CdS dengan ketebalan 0,6 μm . Dalam fotoampang lintang lapisan tipis dengan SEM kelihatan ada bayangan hitam, hal ini karena posisi detektor letaknya tidak tegak lurus.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil karakteristik sifat listrik atau pengukuran resistansi lapisan tipis CdS di atas CuInSe₂ pada substrat kaca, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Dapat dibuat lapisan tipis CdS (tipe-N) di atas lapisan tipis CuInSe₂ (tipe-P) pada substrat kaca dengan menggunakan teknik *DC sputtering*.
2. Berdasarkan pengukuran dengan alat ukur probe empat titik, maka diperoleh nilai resistansi terendah $R = 5,14 \text{ k}\Omega$, pada kondisi waktu deposisi 60 menit, tekanan gas $1,3 \times 10^{-1} \text{ Torr}$, suhu 200°C , tegangan 3 kV dan arus 40 mA, kemudian yang terbaca dalam alat ukur menunjukkan bahwa hasil lapisan tipis CdS yang terbentuk tipe konduksinya adalah tipe-N sesuai dengan tipe target CdS yang dideposisikan.
3. Hasil pengamatan struktur kristal lapisan tipis terorientasi pada bidang (103), (004) dan (200) untuk penumbuhan kristal CuInSe₂ dan terorientasi pada bidang (100), (110) dan (220) untuk penumbuhan kristal CdS.
4. Hasil pengamatan struktur mikro dengan SEM memperlihatkan bahwa lapisan tipis CdS di atas lapisan tipis CIS terbentuk butiran yang terdistribusi cukup homogen, kemudian dari fotoampang lintang terlihat untuk lapisan CuInSe₂ mempunyai ketebalan lapisan 1,0 μm dan lapisan CdS mempunyai ketebalan 0,6 μm .

DAFTAR PUSTAKA

1. KATSUMI KUSHIYA, HIDEKI HAKUMA, HIDEKI SANO, AKIRA YAMADA, MAKOTO KONAGAI, Effects of Post-Deposition Heat Treatments on ZnO/CdS/CuInSe₂ Thin Film Solar Cells Studied by Photoluminescence Measurements, *Solar Energy Materials and Solar Cells* 35, 223 – 229, 1994.
2. RAFFAELLE, RP et al., Electrodeposited CdS on CIS p-n Junctions, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol 57, pp 167 - 178, 1999.
3. I. HENGEL, A. NEISSER, R. KLENK, M. Ch. LUX-STEINER, Current Transport in CuInS₂: Ga/CdS/ZnO-Solar Cells, *Thin Solid Films* 361 – 362, 458 – 462, 2000.
4. M. ALTOSAAR, K. ERNITS, J. KRUSTOK, T. VAREMA, J. RAUDOJA, E.MELLIKOV, Comparison of CdS Films Deposited From Chemical Baths Containing Different Doping Impurities, *Thin Solid Film*, 2004.
5. JAN STERNER, ALD, Buffer Layer Growth and Interface Formation on Cu(In,Ga)Se₂ Solar Cell Absorbers, *Acta Universitatis Upsaliensis*, Uppsala, 2004.
6. KIYOTAKA WASA, S. HAYAKAWA, Handbook of Sputter Deposition Technology, Principles, Technology and Applications, Noyes Publications, Park Ridge, New Jersey, USA, 1991.