

PENGARUH PERBEDAAN SUHU KALSINASI TERHADAP BAND GAP DAN KONDUKTIVITAS LISTRIK LAPISAN TIPIS CuSnO_3

The Influence of Different Calcination Temperatures on the Band Gap and Electrical Conductivity of CuSnO_3 Thin Films

Syafrian & Hary Sanjaya

Universitas Negeri Padang

susyafrian5@gmail.com; hary.s@fmipa.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Feb 12, 2024	Feb 17, 2024	Feb 20, 2024	Feb 23, 2024

Abstract

The main semiconductor materials used are the elements Ge (germanium) and Si (silicon). The element Ge is found in nature in small quantities and silicon is the most abundant element in the earth's crust but its conductivity is low. The semiconductor material that has recently been frequently researched is Copper Tin Oxide (CuSnO_3). CuSnO_3 has high electrical conductivity and is quite abundant on the earth's surface. The synthesized CuSnO_3 semiconductor is applied as a thin layer because of several advantages such as large output voltage, small electrode mass, and also a fairly long service life. This research aims to determine the optical and electrical properties of CuSnO_3 thin films synthesized using the sol-gel method with dip coating techniques. $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, methanol, and monoethanolamine (MEA) are the precursors used. The synthesized CuSnO_3 thin layer was characterized using a UV-DRS instrument to determine the band gap value and tested using the four point probe method to determine its electrical conductivity. The band gap values with calcination temperatures of 500°C , 550°C , and 600°C are 2.55 eV, 2.83 eV, and 2.95 eV, respectively, with electrical conductivity of $348.46 \times 10^2 \text{ S/cm}$, $155.48 \times 10^2 \text{ S/cm}$, and $107.63 \times 10^2 \text{ S/cm}$. From these data it can be concluded that the band gap value of the CuSnO_3 thin layer will increase when the calcination temperature used is higher, and the conductivity decreases as the band gap value of the CuSnO_3 thin film increases.

Keywords : *CuSnO₃ ; Sol-gel ; Dip coating; calcination temperature ; band gap ; Electrical conductivity*

Abstrak: Bahan utama semikonduktor yang digunakan adalah unsur Ge (germanium) dan Si (silikon). Unsur Ge terdapat di alam dengan jumlah yang sedikit dan silikon yang merupakan unsur terbanyak dikerak bumi namun konduktivitasnya rendah. Material semikonduktor yang belakangan ini sering diteliti yaitu *Copper Tin Oxide* (CuSnO₃). CuSnO₃ memiliki konduktivitas listrik yang tinggi dan bahannya cukup melimpah dipermukaan bumi. Semikonduktor CuSnO₃ yang disintesis diaplikasikan sebagai lapisan tipis karena beberapa kelebihan seperti besarnya tegangan keluar, massa elektroda yang kecil, dan juga masa pakai yang cukup lama. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat optik dan listrik lapisan tipis CuSnO₃ yang disintesis menggunakan metode *sol-gel* dengan teknik pelapisan *dip coating*. CuCl₂·2H₂O, SnCl₂·2H₂O, metanol, dan *monoethanolamine* (MEA) adalah prekursor yang digunakan. Lapisan tipis CuSnO₃ hasil sintesis dikarakterisasi dengan instrumen UV-DRS untuk mengetahui nilai *band gap* dan diuji menggunakan metode *four point probe* untuk mengetahui konduktivitas listriknya. Nilai *band gap* dengan suhu kalsinasi 500°C, 550°C, dan 600°C adalah 2,55 eV, 2,83 eV, dan 2,95 eV, dengan konduktivitas listrik 348,46 × 10² S/cm, 155,48 × 10² S/cm, dan × 10² S/cm. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai *band gap* lapisan tipis CuSnO₃ akan meningkat ketika suhu kalsinasi yang digunakan semakin tinggi, dan konduktivitas menurun seiring meningkatnya nilai *band gap* lapisan tipis CuSnO₃.

Kata Kunci : CuSnO₃ ; *Sol-gel ; Dip coating ; Suhu Kalsinasi ; Band Gap ; Konduktivitas Listrik*

PENDAHULUAN

Perkembangan zaman yang begitu pesat menuntut untuk peningkatan kualitas fungsi teknologi (Purba et al., 2021). Kemajuan teknologi mikroelektronika merupakan salah satu pendorong berkembangnya teknologi saat ini. Industri mikroelektronika ini berkembang karena teknologi semikonduktor yang berkembang pesat (Mujahidin, 2021). Bahan utama semikonduktor yang digunakan adalah unsur Ge (germanium) dan Si (silikon). Germanium adalah unsur yang bersifat semi logam. Unsur Ge terdapat di alam terkandung dalam berbagai jenis logam atau mineral dengan jumlah yang sedikit. Lalu silikon yang merupakan unsur terbanyak dikerak bumi dengan berat mencapai 25% berat bumi. Namun, meskipun berpotensi biaya yang lebih murah, silikon memiliki kelemahan yaitu konduktivitasnya yang rendah (Akhadi et al., 2015; Casimir et al., 2016).

Material semikonduktor yang belakangan ini sering diteliti yaitu *Copper Tin Oxide* (CuSnO₃). CuSnO₃ merupakan material semikonduktor yang memiliki fase amorf ketika diuji menggunakan instrumen XRD (Dong et al., 2019). CuSnO₃ memiliki konduktivitas listrik yang tinggi, efek sinergisnya yang baik, memiliki struktur lapisan ganda, struktur pita dengan

superkonduktivitas, dan kapasitansi spesifik yang tinggi sehingga meningkatkan stabilitasnya (Gnanamoorthy et al., 2020). Dengan berbagai kelebihan dari CuSnO_3 , maka akan disintesis material semikonduktor CuSnO_3 yang nanti akan banyak kegunaannya.

Semikonduktor yang diaplikasikan sebagai lapisan tipis merupakan pendekatan yang sangat menjanjikan dalam mengoptimalkan karakteristiknya (Kimura, 2019). Lapisan tipis merupakan perangkat yang dibuat dengan pengendapan material diatas penyangga padat yang disebut substrat (Chopra & Kaur, 1983). Perangkat lapisan tipis memiliki beberapa kelebihan seperti besarnya tegangan keluar, massa elektroda yang kecil, dan juga masa pakai yang cukup lama. Tingginya perbandingan antara luas permukaan dengan volume pada struktur lapisan tipis dapat mengakibatkan terjadinya percepatan litiasi dan delitiasi untuk transpor elektron (Salah et al., 2019).

Metode sintesis yang dapat digunakan yaitu metode kopresipitasi kimia (Wang et al., 2019), hidrotermal (Borhade et al., 2019; Gnanamoorthy et al., 2020), *green synthesis* (Mohanta et al., 2019), reaksi pelarut sederhana (Zhang et al., 2018) dan metode *sol-gel* (Kim et al., 2018). Dari semua metode yang disebutkan, metode *sol-gel* memiliki popularitas dan aplikasi industri yang lebih tinggi dibandingkan metode lain. Metode ini mampu menghasilkan produk berkualitas tinggi dengan ukuran partikel yang seragam dalam skala industri. Metode *sol-gel* memungkinkan untuk membuat komposit yang sangat homogen dengan kemurnian yang sangat tinggi. Selain itu, metode ini efektif digunakan untuk mensintesis nanooksida logam dan senyawa amorf (Bokov et al., 2021), sehingga metode *sol-gel* cocok digunakan pada penelitian ini.

Teknik pelapisan menggunakan metode *sol-gel* terdiri dari beberapa macam, yaitu *spin coating*, *dip coating*, *spray coating*, dan *inkjet printing*. Masing-masing metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan. Seperti pada metode *spin coating*, kontrol ketebalan lapisannya mudah, tetapi tidak dapat digunakan pada substrat yang besar (Mustafa & Jameel, 2021). Pada penelitian ini metode pelapisan yang digunakan adalah *dip coating*. Teknik *dip coating* dipilih karena memiliki banyak kelebihan, seperti prosesnya sederhana, biaya pengolahan yang rendah dan memiliki kualitas yang bagus untuk aplikasi industri (Chaudhary, 2021).

Untuk mengoptimalkan hasil sintesis lapisan tipis dapat digunakan senyawa aditif. Dalam penelitian ini, senyawa aditif yang digunakan adalah *monoethanolamine* (MEA). MEA merupakan senyawa aditif yang dapat meningkatkan kelarutan dan memiliki sifat stabilitas suhu yang baik (Ningsih, 2016). Menurut (Kayani et al., 2015), suhu kalsinasi akan

berpengaruh terhadap karakteristik lapisan tipis seperti ukuran partikel, dan sifat optik lapisan tipis. Berdasarkan hal tersebut, maka dalam penelitian ini akan dilihat bagaimana pengaruh perbedaan suhu kalsinasi terhadap lapisan tipis CuSnO_3 yang disintesis.

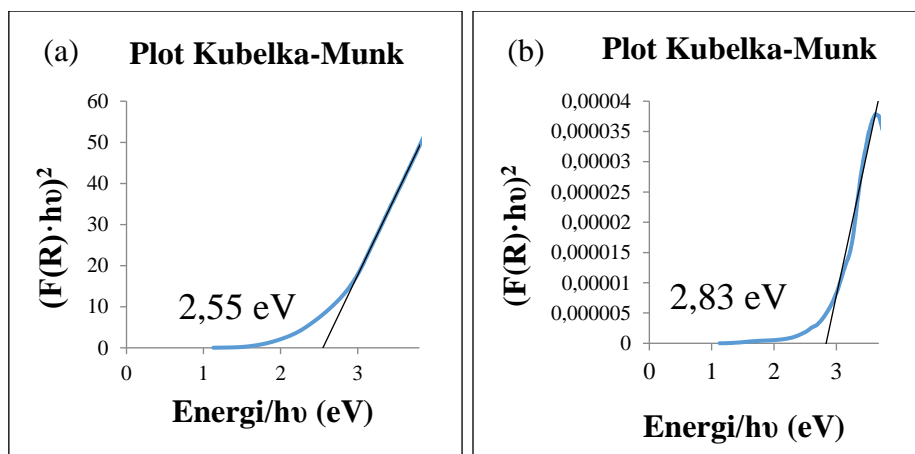
Pada penelitian ini, lapisan tipis CuSnO_3 disintesis menggunakan metode *sol-gel* dan metode pelapisan *dip coating* dengan suhu kalsinasi yang berbeda, lalu akan dilihat sifat optik dan sifat listriknya. Lapisan tipis yang disintesis akan dikarakterisasi menggunakan instrumen UV-DRS untuk mengetahui nilai *band gap*-nya kemudian diuji menggunakan metode *four point probe* untuk mengetahui konduktivitas listriknya.

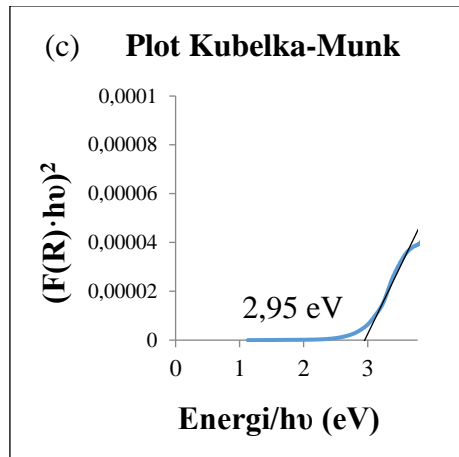
METODE

Sintesis lapisan tipis CuSnO_3 dilakukan dengan melarutkan $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dan $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ dengan perbandingan mol 1:1 ke dalam 20 mL pelarut (metanol) lalu masing-masing larutan ditambahkan 2 mL MEA dan diultrasonikasi selama 1 jam. Setelah itu larutan diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 6 jam dan *diaging* selama 12 jam. Selanjutnya, substrat dicelupkan pada masing-masing larutan CuSnO_3 selama 15 menit, setelah itu dipanaskan dengan suhu $\pm 110^\circ\text{C}$ selama 15 menit. Lalu dilakukan kalsinasi akhir pada variasi suhu 500°C , 550°C dan 600°C selama 2 jam.

HASIL

1. Spektrum UV-DRS Lapisan tipis CuSnO_3





Gambar 1 Kurva *band gap* hasil analisa UV-DRS, (a) Suhu 500°C, (b) Suhu 550°C, (c) Suhu 600°C

2. Sifat Listrik Lapisan tipis CuSnO₃

Tabel 1. Resistivitas dan Konduktivitas Lapisan Tipis CuSnO₃ Berdasarkan Variasi Suhu Kalsinasi

Sampel	Resistivitas ($\times 10^{-2} \Omega \cdot \text{cm}$)	Konduktivitas ($\times 10^2 \text{ S/cm}$)
Suhu 500° C	28,69	348,46
Suhu 550° C	64,31	155,48
Suhu 600° C	92,90	107,63

PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan sintesis lapisan tipis CuSnO₃ dengan penambahan MEA. Penambahan MEA tersebut diharapkan dapat mengontrol sifat semikonduktor lapisan tipis seperti nilai energi celah pitanya (*band gap*). Karakterisasi UV-DRS bertujuan untuk mengetahui nilai *band gap* dari lapisan tipis CuSnO₃. Nilai *band gap* diperoleh dengan menerapkan fungsi kubelka-munk pada nilai reflektansi sehingga diperoleh kurva $(F(R)hv)^2$ versus hv . Dari kurva tersebut, akan diperoleh nilai *band gap* lapisan tipis CuSnO₃.

Lapisan tipis yang di kalsinasi pada suhu 500°C, 550°C, dan 600°C memiliki nilai *band gap* yang bervariasi yaitu 2,55 eV, 2,83 eV, dan 2,95 eV. Dari data yang diperoleh dapat diketahui bahwa suhu kalsinasi yang berbeda sangat mempengaruhi nilai *band gap* lapisan tipis yang disintesis. Semakin tinggi suhu kalsinasi yang digunakan akan menyebabkan mengecilnya ukuran partikel (Yu et al., 2002). Ukuran partikel yang semakin kecil akan mengakibatkan pita

valensi dan pita konduksi bergeser saling menjauhi sehingga celah antara pita valensi dengan pita konduksi material semakin besar (Irimpan et al., 2007).

Konduktifitas lapisan tipis CuSnO_3 diuji menggunakan metode *Four Point Probe* (FPP), dimana lapisan tipis dikontakkan dengan empat *probe*, yaitu dua *probe* berfungsi untuk menyuntikkan arus pada sampel, dan dua *probe* lainnya berfungsi untuk mengukur tegangan (V) dan kuat arus (I) dari sampel.

Berdasarkan data pada tabel 1, lapisan tipis CuSnO_3 yang disintesis memiliki konduktivitas $107,63 \times 10^2$ S/cm hingga $348,46 \times 10^2$ S/cm, nilai tersebut termasuk dalam rentang konduktivitas semikonduktor yaitu 10^5 S/cm hingga 10^{-11} S/cm. Lapisan tipis yang disintesis memiliki resistivitas $92,90 \times 10^{-2}$ $\Omega \cdot \text{cm}$ hingga $28,69 \times 10^{-2}$ $\Omega \cdot \text{cm}$. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan oleh Joseph et al. (2009) lapisan tipis SnO_2 yang didoping dengan Li memiliki resistivitas $181,5 \times 10^{-2}$ $\Omega \cdot \text{cm}$ hingga $83,4 \times 10^{-2}$ $\Omega \cdot \text{cm}$. Semakin rendah resistivitas lapisan tipis, maka akan semakin bagus daya hantar listrik lapisan tipis tersebut.

Pada tabel 1 dapat dilihat konduktivitas lapisan tipis CuSnO_3 menurun ketika suhu yang digunakan semakin tinggi. Hal ini juga sesuai dengan nilai *band gap* yang sudah diuji dan dapat dilihat pada gambar 1, *band gap* lapisan tipis CuSnO_3 meningkat ketika suhu kalsinasi yang digunakan semakin tinggi. Jika nilai *band gap* semakin besar, maka energi yang diperlukan elektron untuk bergerak dari pita valensi menuju pita konduksi juga harus besar, dan elektron yang berpindah dari pita valensi menuju pita konduksi akan lebih sedikit. Ketika elektron berpindah ke pita konduksi, maka akan terbentuk *hole* yang bermuatan positif pada pita valensi. *Hole* yang terbentuk pada pita valensi dan pergerakan elektron pada pita konduksi tersebut akan menghasilkan arus listrik. Sehingga ketika *band gap* lapisan tipis CuSnO_3 semakin besar, maka konduktivitasnya akan semakin menurun.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh *band gap* lapisan tipis CuSnO_3 yang berbeda. Pada variasi suhu kalsinasi 500°C , 550°C , dan 600°C masing-masing *band gap*nya adalah 2,95 eV, 2,83 eV dan 2,55 eV dengan konduktivitas listrik masing-masing yaitu $348,46 \times 10^2$ S/cm, $155,48 \times 10^2$ S/cm, dan $107,63 \times 10^2$ S/cm. dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa ketika suhu kalsinasi yang digunakan lebih tinggi maka *band gap* lapisan tipis akan semakin besar. Ketika *band gap* lapisan tipis CuSnO_3 semakin besar, maka

konduktivitas listriknnya akan semakin menurun dan begitu pula sebaliknya, ketika *band gap* lapisan tipis CuSnO_3 semakin kecil, maka konduktivitas listriknnya akan semakin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, M., Utama, P., Tenaga, B., & Nasional, N. (2015). Memproduksi Bahan Semikonduktor Di Dalam Teras Reaktor Nuklir. *KILAT*, 4(1), 90–97.
- Bokov, D., Turki Jalil, A., Chupradit, S., Suksatan, W., Javed Ansari, M., Shewael, I. H., Valiev, G. H., & Kianfar, E. (2021). Nanomaterial by Sol-Gel Method: Synthesis and Application. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021.
- Borhade, V., Tope, D. R., & Sangle, S. L. (2019). Synthesis, Characterization, and Photocatalytic Application of CuSnO_3 Perovskite Oxide. *JETIR1903551 Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(3), 382–386.
- Casimir, A., Zhang, H., Ogoke, O., Amine, J. C., Lu, J., & Wu, G. (2016). Silicon-based anodes for lithium-ion batteries: Effectiveness of materials synthesis and electrode preparation. *Nano Energy*, 27, 359–376.
- Chaudhary, K. T. (2021). Thin film deposition: Solution based approach. In *Thin Films*. IntechOpen.
- Chopra, K. L., & Kaur, I. (1983). Thin Film Technology: An Introduction. In *Thin Film Device Applications*.
- Dong, S., Cui, L., Zhao, Y., Wu, Y., Xia, L., Su, X., Zhang, C., Wang, D., Guo, W., & Sun, J. (2019). Crystal structure and photocatalytic properties of perovskite $\text{MSn}(\text{OH})_6$ (M= Cu and Zn) composites with d10-d10 configuration. *Applied Surface Science*, 463, 659–667.
- Gnanamoorthy, G., Yadav, V. K., & Narayanan, V. (2020). Well organized assembly of (X)- CuSnO_3 nanoparticles enhanced photocatalytic and anti-bacterial properties. *Journal of Water Process Engineering*, 36, 101258.
- Irimpan, L., Nampoory, V. P. N., Radhakrishnan, P., Deepthy, A., & Krishnan, B. (2007). Size dependent fluorescence spectroscopy of nanocolloids of ZnO. *Journal of Applied Physics*, 102(6).
- Joseph, D. P., Renugambal, P., Saravanan, M., Raja, S. P., & Venkateswaran, C. (2009). Effect of Li doping on the structural, optical and electrical properties of spray deposited SnO_2 thin films. *Thin Solid Films*, 517(21).
- Kayani, Z. N., Saleemi, F., & Batool, I. (2015). Effect of calcination temperature on the properties of ZnO nanoparticles. *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 119(2).
- Kim, B. N., Seo, G. K., Hwang, S. W., Yu, H., Ahn, B., Seo, H., & Cho, I. S. (2018). Photophysical properties and photoelectrochemical performances of sol-gel derived copper stannate (CuSnO_3) amorphous semiconductor for solar water splitting application. *Ceramics International*, 44(2), 1843–1849.
- Kimura, M. (2019). Emerging applications using metal-oxide semiconductor thin-film devices. *Japanese Journal of Applied Physics*, 58(9), 090503.
- Mohanta, D., Raha, S., Vikram Gupta, S., & Ahmaruzzaman, M. (2019). Bioinspired green

- synthesis of engineered CuSnO₃ quantum dots: An effective material for superior photocatalytic degradation of Rabeprazole. *Materials Letters*, 240, 193–196.
- Mujahidin, A. (2021). Perselisihan Dagang AS-Jepang Dalam Industri Semikonduktor. *Global: Jurnal Politik Internasional*, 3, 94–100.
- Mustafa, H. A. M., & Jameel, D. A. (2021). Modeling and the main stages of spin coating process: A review. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 2(03).
- Ningsih, S. K. W. (2016). *Sintesis Anorganik*. UNP Press.
- Purba, N., Yahya, M., & Nurbaiti, N. (2021). Revolusi industri 4.0: Peran teknologi dalam eksistensi penguasaan bisnis dan implementasinya. *Jurnal Perilaku Dan Strategi Bisnis*, 9(2), 91–98.
- Salah, M., Murphy, P., Hall, C., Francis, C., Kerr, R., & Fabretto, M. (2019). Pure silicon thin-film anodes for lithium-ion batteries: A review. In *Journal of Power Sources* (Vol. 414).
- Wang, Q., Wu, X., & Zhang, L. (2019). Designed of bifunctional Z-scheme CuSnO₃@Cu₂O heterojunctions film for photoelectrochemical catalytic reduction and ultrasensitive sensing nitrobenzene. *Chemical Engineering Journal*, 361, 398–407.
- Yu, J., Yu, J. C., Ho, W., & Jiang, Z. (2002). Effects of calcination temperature on the photocatalytic activity and photo-induced super-hydrophilicity of mesoporous TiO₂ thin films. *New Journal of Chemistry*, 26(5).
- Zhang, Y., Zhou, L., Xiong, F., Tang, H., An, Q., & Mai, L. (2018). Amorphous CuSnO₃ nanospheres anchored on interconnected carbon networks for use as novel anode materials for high-performance sodium ion batteries. *Inorganic Chemistry Frontiers*, 5(11).