

KARAKTERISASI OPTIK DAN STRUKTUR KRISTAL LiTaO_3 PADA SUBSTRAT SILIKON [Si(111)] TIPE-n/ n^+

Yulia Sani¹, Ira Ukhtianingsih², Bambang Hermawan², Akhiruddin Maddu², Irzaman²

¹Institut Pertanian Bogor, Jalan Meranti Gedung Wing S no 3 Dramaga Bogor – 16680

²Institut Pertanian Bogor, Jalan Meranti Gedung Wing S no 3 Dramaga Bogor – 16680

Email: yuliasani.fis48@gmail.com

Abstrak

Telah berhasil dibuat film LiTaO_3 pada substrat silikon [Si(111)] tipe-n/ n^+ dengan variasi suhu *annealing* selama 8 jam pada suhu 600 °C, dan 625 °C. Metode yang digunakan yaitu *Chemical Solution Deposition* (CSD) dengan *spin coating* berkecepatan putar 3000 rpm selama 30 detik dalam kelarutan 1 M. Analisis energi *band gap* menggunakan metode *Tauc Plot* diperoleh hasil nilai 2.58 dan 2.57 eV. Hasil analisis XRD untuk film LiTaO_3 pada suhu *annealing* 600 °C menunjukkan bahwa struktur kristalnya membentuk hexagonal dengan parameter kisi $a=b=5.199\text{\AA}$ dan $c=13.890\text{\AA}$. Hasil uji optiknya dapat mengabsorpsi spektrum Inframerah dekat dengan transisi tidak langsung, dan termasuk material semikonduktor.

Kata kunci : Energi gap, LiTaO_3 , sifat optik, silikon tipe n/ n^+ , XRD

Abstract

LiTaO₃ films had been successfully deposited on the substrate of n/n⁺-type Silicon [Si(111)] with temperature variant for 8 hours at temperature of 600 °C, and 625 °C. The method can be used Chemical Solution Deposition (CSD) and spin coating with rotational speed 3000 rpm for 30 seconds and 1 M solubility. Analysis of the band gap energy using Tauc Plot method produce results of 2.58 eV and 2.57 eV. The result of XRD Crystal structure analysis showed that LiTaO₃ film annealed at 600 °C show a hexagonal structure with lattice parameters of a = b = 5.199 Å and c = 13.890 Å. The result of optical characterization has shown that LiTaO₃ can absorb near infrared spectrum through indirect transition and indicates that LiTaO₃ films is semiconductor materials.

Keywords: band gap energy, LiTaO_3 , optical property, n/ n^+ -type Silicon [Si(111)], XRD.

1. Pendahuluan

Teknologi merupakan kebutuhan dasar yang mutlak diperlukan masyarakat dunia. Semakin berkembangnya teknologi maka semakin berkembang juga material yang digunakan. Penelitian tentang material banyak dilakukan diseluruh dunia untuk diperbaharui, salah satunya adalah material ferroelektrik. Material ferroelektrik memiliki kegunaan yang sangat luas dan digunakan dalam berbagai aplikasi seperti detektor inframerah pyroelektrik, memori *non-volatile*, modulator pemandu gelombang optik [1,2], mikroaktuator (dari sifat piezoelektriknya), sebagai kapasitor untuk DRAM (*Dynamic Random Access Memory*) (dari sifat permitivitas dan polarisabilitas yang tinggi) [3]. Pyroelektrik merupakan kemampuan suatu material untuk menetralkan potensial listrik ketika material dipanaskan atau didinginkan [4]. Ferroelektrik merupakan material elektronik khususnya dielektrik yang terpolarisasi spontan dan memiliki kemampuan untuk mengubah arah listrik internalnya [5]. Polarisasi yang terjadi merupakan hasil dari penerapan medan yang mengakibatkan adanya ketidaksimetrisan

struktur kristal pada suatu material ferroelektrik [6]. Salah satunya adalah LiTaO_3 .

Kristal Litium tantalat (LiTaO_3 , LT) adalah material ferroelektrik yang penting untuk berbagai aplikasi. LiTaO_3 lebih resistan terhadap kerusakan optik dan transparan pada area UV, sudah cukup jauh terutama sedikit pemanfaatannya karena rendah temperatur Curie (650 °C) [7]. Menurut Abrahams *et al*, 1966, struktur kristal dari LiTaO_3 ditetapkan menjadi sebuah sel trigonal dengan nilai parameter kisi $a = 5.154\text{\AA}$ dan $c = 13.7808\text{\AA}$. Namun, pada larutan padatnya ditemukan pengkristalan sebuah simetri kristal *hexagonal*, dengan nilai $a = b \neq c$, $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 120^\circ$ dan rentang parameter kisinya $5.1410\text{\AA} \leq a \leq 5.1471\text{\AA}$ dan $13.7467\text{\AA} \leq c \leq 13.8341\text{\AA}$, berturut-turut [8]. Penelitian lain menyatakan bahwa ditemukan perbedaan antara *Congruent LiTaO₃* (CLT) atau LT sebangun dengan *Stoichiometry LiTaO₃* (SLT) yang memiliki kelebihan Li. Perbedaan tersebut berada pada bentuk kristalnya yaitu bentuk *hexagonal* yang dimiliki oleh SLT kontras dengan bentuk sebuah segitiga di CLT [9].

Secara umum sensor dibuat di atas silikon tipe-p dengan berbagai metode. Bagaimanapun, sensor tipe-

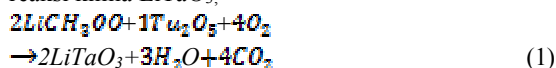
n masih jarang dibuat meskipun silikon tipe-n cukup melimpah dan tersedia untuk jangka panjang. Silikon tipe-n/n⁺ merupakan silikon tipe-n yang memiliki kandungan *high doping* sehingga bisa digunakan dalam *p-n junction* [10]. Silikon n⁺ diketahui memiliki resistivitas listrik kurang dari 0.05 ohm/m, yang dapat melapisi elektron selama resistivitas material lebih tinggi, menimbulkan sebuah efek arus saturasi meskipun turun beberapa volt. Minoritas generasi pembawa dengan area muatan tidak termasuk untuk meningkatkan arus saturasi untuk tipe-n dan serangan ekstensif adalah kejadian pada permukaan tipe-n yang mendapat perlakuan anodic awal. Rapat Arus kritis untuk contoh n⁺ adalah ditemukan fungsi resistivitas [11].

X-Ray diffraction (XRD) merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui struktur kristal, perubahan fasa dan derajat kristalinitas. Difraksi dari sinar-X oleh atom-atom yang tersusun di dalam kristal akan menghasilkan pola yang berbeda tergantung pada konfigurasi yang dibentuk oleh atom-atom dalam kristal. Elektron yang dipancarkan dengan tegangan tinggi menumbuk target (Cu, Cr, Fe, Co, Mo, dan W). Energi kinetik elektron yang menumbuk target berubah menjadi panas dan sinar-X. Dalam peristiwa ini, sinar-X yang dipancarkan terdistribusi secara tidak kontinu dengan λ yang berbeda. Tumbukan yang terjadi antara elektron yang dipercepat dengan atom target bersifat inelastik [12].

Tujuan pada penelitian ini adalah untuk menumbuhkan film LiTaO₃ pada substrat silikon [Si(111)] tipe-n/n⁺ dengan metode *Chemical Solution Diffusion* (CSD) teknik *sol-gel spin-coating* pada variasi suhu *annealing* 600 °C dan 625 °C. Memaparkan karakterisasi fisis film LiTaO₃ berupa struktur kristal dan sifat optiknya berdasarkan hasil uji karakterisasi XRD dan *spektrofotometer VIS-NIR*. Menunjukkan bahwa film LiTaO₃ merupakan material semikonduktor melalui hasil energi gap.

2. Metode Penelitian

Film LiTaO₃ ditumbuhkan pada substrat silikon tipe-n/n⁺ menggunakan metode *Chemical Solution Diffusion* (CSD). Tahap pertama persiapan substrat silikon tipe-n/n⁺, substrat dipotong berbentuk persegi berukuran 1x1 cm. Kemudian pencucian menggunakan *aquabides* dengan mencelupkan substrat selama 10 detik. Tahap kedua, pembuatan larutan LiTaO₃ dari 0.3299 g serbuk Litium asetat [*Lithium acetate*, Li(CH₃COO)] dan 1.1047 g serbuk Tantalum (V) oksida [*Tantalum (V) oxide*, Ta₂O₅], dilarutkan dengan 2.5 ml 2-metoksietanol [H₃COCH₂CH₂OH] kelarutan 1 M. Setelah itu, larutan selama 2 jam untuk homogenisasi. Berikut reaksi kimia LiTaO₃,

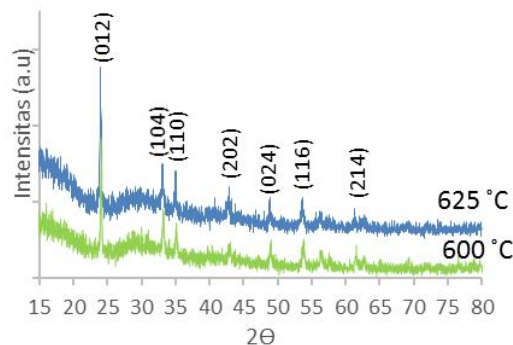


Tahap ketiga, pembuatan film dengan menggunakan metode CSD atau *spin coating*. Pertama, substrat ditempelkan pada bagian tengah *spin coater* menggunakan *double tip*. Selanjutnya setengah atau sepertiga bagian substrat ditutupi isolasi agar selama proses *coating*, larutan LiTaO₃ tidak menutupi seluruh bagian substrat sehingga terdapat bagian yang tidak terlapisi film. Setelah itu meneteskan tiga tetes larutan LiTaO₃ kelarutan 1 M pada substrat yang tidak dilapisi isolasi, lalu *spin coater* dinyalakan selama 30 detik dengan kecepatan 3000 rpm. Setelah itu, *spin coater* dimatikan dengan selang satu menit ditetaskan kembali dan diputar dengan proses yang sama. Proses ini dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap sampel. Tahap terakhir dari proses penumbuhan film adalah dengan memanaskan substrat yang sudah dilapisi larutan LiTaO₃ dengan variasi suhu *annealing* yaitu 600 °C dan 625 °C.

Kristal yang sudah terbentuk setelah proses *annealing* dikarakterisasi dengan *X-ray Diffraction* (XRD) dan *spektrofotometer VIS-NIR*. Dari hasil karakterisasi akan terlihat struktur kristal dan sifat optik film LiTaO₃.

3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 1 menunjukkan pola difraksi sinar-X pada film LiTaO₃ pada substrat silikon (111) tipe n/n⁺ di suhu *annealing* 600 °C dan 625 °C. Tampak bahwa film yang ditumbuhkan masih memiliki orientasi polikristalin dengan munculnya beberapa puncak, yaitu pada hkl (021), (104), (110), (202), (024), (116), dan (214). Puncak pada hkl (021) memiliki intensitas tertinggi diantara puncak lainnya, berarti pada puncak tersebut film memiliki kualitas kristal dan derajat keteraturan yang tinggi. Struktur kristal film LiTaO₃ membentuk hexagonal.



Gambar 1. Pola XRD pada film LiTaO₃ pada substrat silikon (111) pada temperatur 600 °C dan 625 °C.

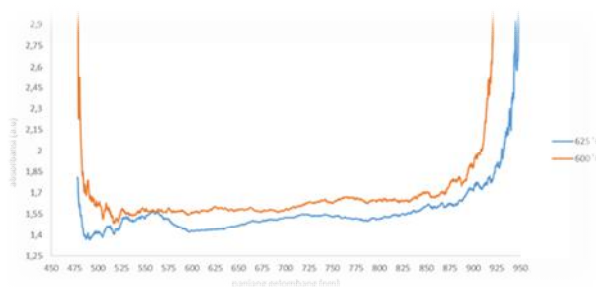
Data JCPDS (pdf#290836) memaparkan bahwa LiTaO₃ membentuk struktur kristal *hexagonal* dengan nilai parameter kisi $a = b = 5.153\text{\AA}$ dan $c = 13.75\text{\AA}$.

Hasil perhitungan parameter kisi pada suhu *annealing* 600 °C dan 625 °C ditunjukkan pada Tabel 2. Hal tersebut menunjukkan bahwa film LiTaO₃ memiliki struktur kristal *hexagonal* dengan nilai parameter kisi yang mendekati literatur

Tabel 1. Parameter kisi film LiTaO₃ pada suhu *annealing* 600 °C dan 625 °C struktur kristal Hexagonal

Parameter kisi	Suhu <i>annealing</i> film LiTaO ₃		Data JCPDS
	600 °C	625 °C	
a (Å)	5.199	5.267	5.153
c (Å)	13.890	14.036	13.755

Karakterisasi optik meliputi penyerapan cahaya oleh film LiTaO₃ dan energi gap. Banyaknya cahaya yang dapat diserap oleh sampel dapat dilihat dari grafik absorbansinya yang ditunjukkan pada Gambar 2. Penyerapan awal yang terjadi pada panjang gelombang 470 nm yang berada pada spektrum warna biru kemudian tidak terjadi penyerapan, dan terjadi penyerapan kembali pada panjang gelombang 850 nm pada spektrum infra merah dekat. Hal ini membuktikan bahwa LiTaO₃ dapat menyerap spektrum infra merah.



Gambar 2. Grafik hubungan absorbansi terhadap panjang gelombang

Koefisien absorbansi adalah nilai yang menunjukkan besarnya energi foton yang diserap oleh film [13]. Semakin besar nilainya maka semakin besar energi foton yang terserap. Film LiTaO₃ memiliki nilai koefisien absorbansi lebih besar dari 10⁴ m⁻¹. Hal ini menunjukkan bahwa film LiTaO₃ mengalami jenis transisi *indirect*.

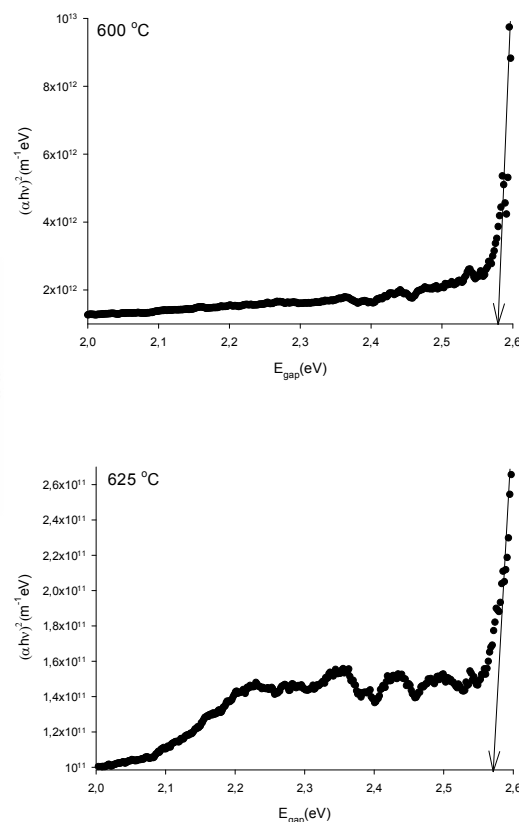
Energi gap adalah energi yang diperlukan oleh elektron untuk memecahkan ikatan kovalen sehingga dapat berpindah jalur dari jalur valensi ke jalur konduksi. Pada material semikonduktor, karena celah energinya sempit maka jika suhu naik, sebagian elektron di pita valensi naik ke pita konduksi dengan meninggalkan tempat kosong (*hole*) di pita valensi. Elektron yang telah berada di pita konduksi maupun *hole* di pita valensi akan bertindak sebagai pembawa muatan untuk terjadinya arus listrik [14].

Penentuan energi gap didapat dengan mengolah data absorbansi. Adapun analisis dari pengujian optik adalah dengan memplot hubungan koefisien absorpsi terhadap energi foton yang diberikan ke sampel melalui persamaan *Tauc Plot* seperti persamaan (2) dan (3) [15].

$$\alpha h\nu = A(h\nu - E_g)^n \quad (2)$$

$$\alpha(A) = \frac{1.703 \times A(A)}{d} \quad (3)$$

Penentuan energi gap dilakukan dengan cara membuat grafik hubungan $(\alpha h\nu)^n$ dan $h\nu$ memakai nilai koefisien absorpsi (α) dan nilai eksponen (n) yang didapat dari langkah sebelumnya. Dari grafik tersebut, dicari nilai gradien maksimum antara dua data terdekat, kemudian dicari persamaan garisnya. Dari persamaan garis tersebut didapatkan nilai energi gap dengan cara memotongkan ke tanda $h\nu$ (sumbu-x) [16].



Gambar 3. Energi band gap dengan menggunakan metode tauc plot.

Suatu material dapat dikatakan konduktor, semikonduktor dan isolator tergantung pada sifat bahan material dan energi gap. Saat energi gap berada pada kisaran 1 eV sampai 6 eV, maka material tersebut termasuk semikonduktor [17]. Penentuan energi gap dengan menggunakan metode *tauc plot* ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai Energi gap yang didapatkan adalah 2.58 eV dan 2.57 eV.

Hasil energi gap yang didapatkan berada pada area energi gap semikonduktor, sehingga hal ini membuktikan bahwa film LiTaO_3 termasuk material semikonduktor. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa pada suhu 400 K LiTaO_3 memiliki nilai energi gap 3-4.6 eV [18]. Nilai energi gap yang didapatkan berbeda dengan literatur, hal tersebut disebabkan oleh perubahan energi termal saat pembentukan kristal dan metode yang berbeda. Hal tersebut menunjukkan bahwa energi termal dapat menyebabkan perubahan energi eksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Kesalahan paralaks bisa saja terjadi dalam teknis menentukan energi gap, yaitu ketika memplot persamaan garis hubungan antara $(\alpha h\nu)^n$ dan $h\nu$ yang memotong ke tanda $h\nu$ (sumbu-x) untuk mendapatkan energi gap.

4. Kesimpulan

Film LiTaO_3 (Lithium Tantalate) dapat tumbuh di atas substrat Silikon [$\text{Si}(111)$] tipe-n/ n^+ . Hasil analisis XRD menunjukkan LiTaO_3 pada suhu annealing 600 °C membentuk struktur kristal hexagonal dengan parameter kisi $a = b = 5.199\text{\AA}$ dan $c = 13.890\text{\AA}$. Analisis energi *band gap* menggunakan metode *Tauc Plot* pada suhu annealing 600 °C dan 625 °C menghasilkan nilai sebesar 2.58 eV dan 2.57 eV. Hasil uji optik menunjukkan film LiTaO_3 dapat mengabsorpsi spektrum Inframerah dekat dan termasuk material semikonduktor.

Daftar Acuan

- [1] P. Combette, L. Nougaret, B. Sorli, and FP. Delannoy, Pyroelectric LiTaO_3 Thin Films Elaborated by RF Magnetron Sputtering on $\text{RuO}_2/\text{SiN}_x$, J. Taylor & Francis Group. 353 (2007), p. 233-241.
- [2] Irzaman, H. Syafutra, E. Rancasa, A.W. Nuayi, Surianty, O. Muzikarno, and Masrur, The Effect of Ba/Sr Ratio on Electrical and Optical Properties of $\text{Ba}_x\text{Sr}_{(1-x)}\text{TiO}_3$ ($x=0.25;0.35;0.45;0.55$) Thin film Semiconductor, J. Ferroelectrics. 445(1) (2013), p. 4-17.
- [3] H. Darmasetiawan, Irzaman, M.N. Indro, S.G. Sukaryo, M. Hikam and Na Peng Bo, Optical Properties of Crystalline Ta_2O_5 Thin Films, J. Physica Status Solidi (a), Germany, 193(3) (2004), p. 53-60.
- [4] A. Kurniawan, D. Yosman, A. Arif, J. Juansah, and Irzaman, Development and Application of $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ (BST) Thin Film as Temperature Sensor for Satellite Technology, J. Procedia Environmental Sciences. 24 (2015), p. 355 - 359.
- [5] Uchino K, JR Giniewicz. *Micromechantronics*. Marcel Dekker (US) : New York, Basel (2003). p. 37-39.
- [6] Y.T.Raksa, M. Hikam, Irzaman, Rietveld Analysis of Ferroelectric $\text{PbZr}_{0.525}\text{Ti}_{0.475}\text{O}_3$ Thin Films, J. Ceramics Internasional. 30 (2005), p. 1483-1485
- [7] G. Fu, X.F. Qin, and X.L. Wang, Optical Waveguide Formed in a LiTaO_3 Crystal by Using MeV C^{3+} Ion Implantation, J. Korean Physical Society, 56 (4) (2010), p. 1364-1368.
- [8] K.Y Bak, *et all*, Structural and Electrical Properties of Nb-Substituted $\text{LiTa}_{1-x}\text{Nb}_x\text{O}_3$, J. Sains Malaysiana. 43 (10) (2014), p. 1573-1576.
- [9] V. Ya Shur, *et all*, Polization Reversal in Congruent and Stoichiometric Lithium Tantalate, J. Applied Physics Letters. 7(19) (2001), p. 3146-3148.
- [10] Meek, Ronald L. *Anodic Dissolution of N^+ Silicon*. Murray Hill (US) : New Jersey (1971)
- [11] A Ebong, *et all*. *Rapid Thermal Processing of High Efficiency n-Type Silicon Solar Cells with Al Back Junction*. USA. University Center of Excellence for Photovoltaic Research and Education.
- [12] Cullity BD, Stock SR. *Element of X-Ray Diffraction*. Prentice Hall (US) : New Jersey (2001)
- [13] Astuti, Yuli. Pembuatan dan Karakterisasi Film Litium Tantalat (LiTaO_3) terhadap Variasi Suhu dan Waktu *Annealing*. [skripsi]. Bogor (ID) :IPB (2012)
- [14] Hikmah, YN. Sifat Kristal dan sifat Listrik Film Lithium Tantalat Silikat (LiTaSiO_5) Terhadap Variasi Suhu serta Waktu *Annealing*. [skripsi]. Bogor (ID) : IPB (2013)
- [15] Iskandar J, Syafutra H, Juansah J, Irzaman. 2015. Characterization of Electrical and Optical Properties of Barium Strontium Titanate ($\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$) Film Based on The Annealing Time Difference and its Development as Light Sensor on Satellite Technology. Procedia Environmental Sciences (24), p. 324-328.
- [16] H. Akbar, Nurhasanah, Maimuna, Hisyam, Irzaman, Analisis Energi Band Gap pada Film Tipis $\text{Ba}_{0.55}\text{Sr}_{0.45}\text{TiO}_3$ Diatas Substrat Silikon (100) Tipe-P, J. SEMIRATA 2014 Bidang MIPA BKS-PTN-Barat, (Fisika). (2014), p. 47-50.
- [17] A. Ismangil, R.P. Jenie, Irmansyah, and Irzaman, Development of lithium tantallite (LiTaO_3) for Automatic Switch on LAPAN-IPB Satellite Infra-red Sensor. J. Procedia Environmental Sciences. 24 (2015), p. 322-324.
- [18] S. Cabuk, and A. Mamedov, A Study of LiNbO_3 and LiTaO_3 Absorption Edge, Tr J of Physics. 22 (1998), p. 41-45.