

UJI KONDUKTIVITAS LISTRIK FILM TIPIS FERROELEKTRIK Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO₃ DIDADAH GALIUM (BGST)

R.Aam. Hamdani¹, M. Komaro¹, Ripno¹, Salomo¹, Rizki¹ Irzaman², A. Marwan², A. Arief²

¹Jurusan Pendidikan Teknik Mesin FPTK UPI

Jl. Setiabudhi no.229 Bandung

Email : hamdani_raam@yahoo.com

²Laboratorium Fisika Material, Departemen Fisika FMIPA IPB,
Kampus IPB Darmaga Gedung Wing S Bogor, Indonesia – 16680

Email : irzaman@yahoo.com, irzaman@dosen.fisika.net

ABSTRAK

Telah berhasil ditumbuhkan film tipis berbasis ferroelektrik BGST di atas substrat silikon (100) tipe-*n* struktur MFM. Film tipis dibuat dengan metode *chemical solution deposition* (CSD) dan metode *spin coating*, dengan kelarutan precursor 1,00 M dan kecepatan putar 3000 rpm selama 30 detik. Kemudian dilakukan proses *annealing* terhadap sembilan sampel yang dihasilkan yaitu BST tanpa pendadah galium (BGST 0%) *annealing* 850°C, BGST 0% *annealing* 900°C, BGST 0% *annealing* 950°C, BGST 5% *annealing* 850°C, BGST 5% *annealing* 900°C, BGST 5% *annealing* 950°C, BGST 10% *annealing* 850°C, BGST 10% *annealing* 900°C, BGST 10% *annealing* 950°C masing-masing selama 15 jam dalam suasana atmosfer oksigen. Setiap sampel diukur nilai resistansi dan dihitung konduktivitas listrik film tipis BGST menggunakan lampu pijar 100 W dan lampu OHP 400 W. Perhitungan nilai konduktivitas listrik seluruh film tipis BGST menunjukkan sifat semikonduktor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai resistansi dan konduktivitas listrik film tipis memiliki korelasi yang kuat terhadap suhu *annealing* dan konsentrasi pendadah.

Kata kunci : Konduktivitas listrik, Ferroelektrik, BST, pendadah galium, CSD.

ABSTRACT

Gallium doped BST (BGST) thin films were successfully deposited on *n*-type Si(100) substrates with MFM structure. The thin films were fabricated by the chemical solution deposition (CSD) and spin coating method, with 1.00 M precursor and spinning speed of 3000 rpm for 30 seconds. The post deposition annealing of the 9 films were carried out BST without gallium (BGST 0%) annealing 850°C, BGST 0% annealing 900°C, BGST 0% annealing 950°C, BGST 5% annealing 850°C, BGST 5% annealing 900°C, BGST 5% annealing 950°C, BGST 10% annealing 850°C, BGST 10% annealing 900°C, BGST 10% annealing 950°C for 15 hour in oxygen gas atmosphere, respectively. The resistance and electrical conductivity of the grown thin films are characterized by lamp 100 W and OHP lamp 400 W. The electrical conductivity of the grown thin films BGST due to semiconductor. The results show that resistance and electrical conductivity of the thin film have strong correlation to the annealing temperature and concentration dopant.

Keywords : Electrical conductivity, Ferroelectric, BST, dopant gallium, CSD.

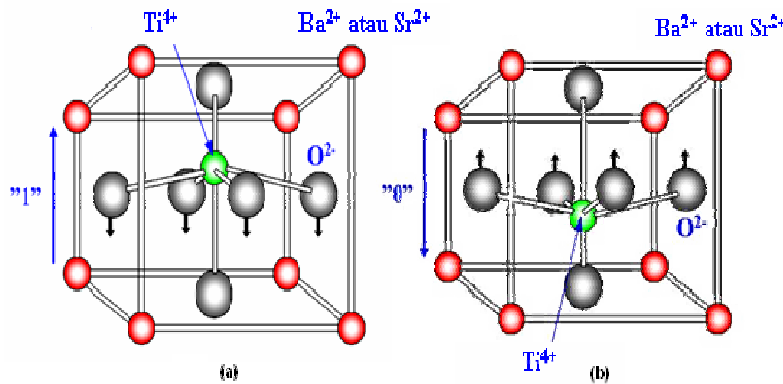
PENDAHULUAN

Film tipis ferroelektrik banyak digunakan dalam aplikasi untuk piranti elektrooptik dan elektronik. Beberapa material film tipis ferroelektrik yang penting antara lain BaSrTiO_3 , PbTiO_3 , $\text{Pb}(\text{Zr}_x\text{Ti}_{1-x})\text{O}_3$, SrBiTaO_3 , $\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ dan $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$. Aplikasi-aplikasi film tipis ferroelektrik menggunakan sifat dielektrik, pyroelektrik, dan elektrooptik yang khas dari bahan ferroelektrik. Sebagian dari aplikasi elektronik yang paling utama dari film tipis ferroelektrik di antaranya: non-volatile memori yang menggunakan kemampuan polarisasi (polarizability) yang tinggi, kapasitor film tipis yang menggunakan sifat dielektrik, dan sensor pyroelektrik yang menggunakan perubahan konstanta dielektrik karena suhu dan aktuator piezoelektrik yang menggunakan efek piezoelektrik yang tersusun perovskite banyak mendapat perhatian karena memiliki kemungkinan untuk menggantikan memori berbasis material SiO_2 yang sekarang digunakan sebagai Ferroelectric Random Access Memory (FRAM) [1]. Suatu ferroelektrik RAM, jika bahan itu memiliki nilai polarisasi sekitar $10\mu\text{C}\cdot\text{cm}^{-2}$ maka ia mampu menghasilkan muatan sebanyak 10^{14} elektron per cm^{-2} untuk proses pembacaan memori [2]. BST juga dipilih karena pembuatannya dapat dilakukan di laboratorium dengan peralatan yang sederhana dan belum ada kelompok yang meneliti bahan BST dengan didadah seperti pada penelitian ini secara sistematis. Teknik pemrosesan film tipis yang telah digunakan secara luas adalah sol-gel, *sputtering*, *pulsed Laser Ablation Deposition* (PLAD), *Metal Organic Vapor Deposition* (MOCVD) dan *chemical solution deposition* (CSD) [3].

Tujuan penelitian ini adalah pembuatan film tipis berbasis bahan ferroelektrik $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ yang didadah Ga_2O_3 di atas substrat Si tipe-*n* berstruktur MFM menggunakan metode *chemical solution deposition* (CSD) dan uji konduktivitas listriknya.

Feroelektrik adalah gejala terjadinya polarisasi listrik spontan tanpa bahan tersebut menerima medan listrik dari luar bahan [4]. Ferroelektrik menunjukkan bahwa kelompok material dielektrik yang dapat terpolarisasi listrik secara internal pada rentang temperatur tertentu. Polarisasi terjadi di dalam dielektrik sebagai akibat adanya medan listrik dari luar dan simetri pada struktur kristalografi di dalam sel satuan. Jika pada material ferroelektrik dikenakan medan listrik, maka atom-atom tertentu mengalami pergeseran dan menimbulkan momen dipol listrik. Momen dipol ini yang menyebabkan polarisasi [5 - 8].

Berdasarkan ICDD (*international center for diffraction data*), Konstanta kisi Barium Stronsium Titanat ($\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$) yaitu $a = 3.947 \text{ \AA}$. Temperatur Curie barium titanat (BT) murni sebesar $130 \text{ }^\circ\text{C}$. Dengan penambahan stronsium ke dalam barium titanat (BST) menyebabkan temperatur Curie BST menurun $130 \text{ }^\circ\text{C}$ menjadi suhu kamar ($25 \text{ }^\circ\text{C}$) yang berguna untuk spesifikasi alat sensor. Gambar 1.1 menunjukkan struktur *perovskite* BST, ion barium/stronsium ($\text{Ba}^{2+}/\text{Sr}^{2+}$) terletak di ujung rusuk-rusuk kubus, ion titanium (Ti^{4+}) terletak di diagonal ruang dan ino oksigen terletak di diagonal bidang kubus [9].



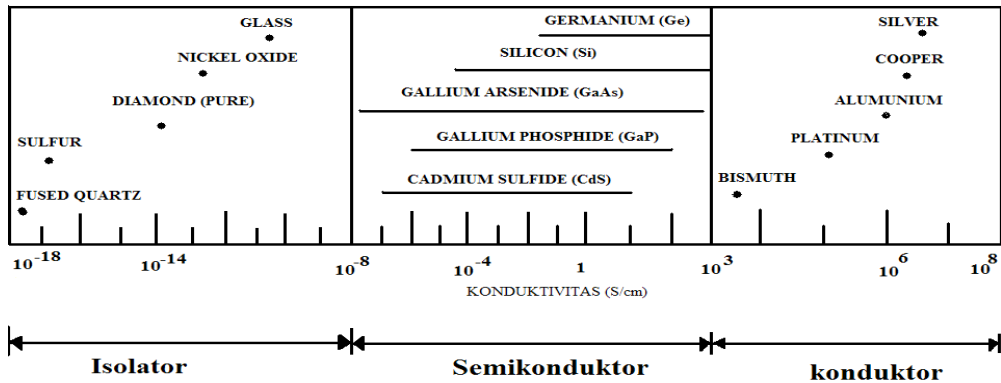
Gambar 1.1. Struktur *perovskite* $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ [9].
 (a) Polarisasi ke atas
 (b) Polarisasi kebawah.

Penambahan galium oksida ke dalam BST akan mendapatkan bahan ferroelektrik/pyroelektrik bersifat menyerupai semikonduktor tipe-p (acceptor doping), karena ion galium (Ga^{3+}) akan menempati posisi ino titanium (Ti^{4+}) yang berarti struktur tersebut memiliki kelebihan ion positif (tipe-p) yang disebut ion hard dopant atau acceptor dopant. Atom galium merupakan atom yang hanya memiliki tiga elektron dalam kulit terluarnya yang berkonfigurasi $(\text{Ne}) 3d^{10} 4s^2 4p^1$, kehadirannya menimbulkan kekosongan yang disebut juga hole dalam struktur elektron kristal itu. Kestabilan galium dicapai dengan menerima valensi yang berlebihan dalam struktur kristal BST, hal ini disebut dengan istilah acceptor dopant atau disebut juga sebagai hard dopant[10].

Film tipis yang memiliki ketebalan sekitar satu mikron ideal untuk digunakan pada berbagai sensor. Pembuatan film tipis ini dapat dilakukan dengan cara *sputtering*, *metal organic vapour deposition* (MOCVD) dan metode *chemical solution deposition* (CSD) [10]. Metode *chemical solution deposition* (CSD) merupakan pembuatan film tipis dengan cara pendeposisian larutan bahan kimia di atas substrat, kemudian dipreparasi dengan *spin coating* pada kecepatan putar tertentu [11]. Proses *spin coating* dapat

dipahami dengan perilaku aliran larutan pada piringan substrat yang berputar. Mula-mula aliran volumetrik cairan dengan arah radial pada substrat diasumsikan bervariasi terhadap waktu. Pada saat $t = 0$, penggenangan awal dan pembasahan menyeluruh pada permukaan substrat (tegangan permukaan diminimalisasi yakni tidak ada getaran, tidak ada noda kering dan sebagainya). Piringan lalu dipercepat dengan kecepatan rotasi yang spesifik, menyebabkan bulk dari cairan terdistribusi merata [11].

Berdasarkan nilai konduktivitas listrik suatu material dapat dibedakan menjadi tiga bagian yaitu konduktor, semikonduktor dan isolator. Gambar 1.2 memperlihatkan untuk material isolator berada dalam selang nilai 10^{-18} S/m sampai 10^{-8} S/m, semikonduktor berada dalam selang nilai 10^{-8} S/m sampai 10^3 S/m dan konduktor berada dalam selang nilai 10^3 S/m sampai 10^8 S/m [12].



Gambar 1.2. Pembedaan material berdasarkan konduktivitas listrik [12].

METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu timbangan Sartorius Model BL 6100, seperangkat reaktor *spin coating*, mortar, pipet, gelas ukur, gelas piala, tabung reaksi, setrika, pinset plastik, gunting, *stopwatch*, spatula, sarung tangan karet, *masker*, *petritis*, *beaker glass*, kompresor udara, Lampu, IC 741, resistor, potensiometer, pikoammeter, mikrovoltmeter, multimeter, baterai, kabel, dan *bread board*.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bubuk barium asetat [$\text{Ba}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$, 99%], bubuk stronsium asetat [$\text{Sr}(\text{CH}_3\text{COOH})_2$, 99%], larutan titanium isopropoksida [$\text{Ti}(\text{C}_{12}\text{O}_4\text{H}_{28})$, 99%], pelarut 2-metoksietanol [$\text{H}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$, 99%], substrat Silikon (100) tipe-*n*, galium pentaoksida [Ga_2O_3], aquadest, metanol, aseton dan *aluminium foil*.

Dalam penelitian ini $Ba_{0,5}Sr_{0,5}TiO_3$ dibuat dengan metode *chemical solution deposition* (CSD). Semua bahan dalam bentuk padatan digerus terlebih dahulu selama 3 jam agar diperoleh butiran yang halus. Kemudian bahan-bahan tersebut, seperti barium asetat [$Ba(CH_3COOH)_2$, 99%], stronsium asetat [$Sr(CH_3COOH)_2$, 99%], titanium isopropoksida [$Ti(C_{12}O_4H_{28})$, 99%], bahan pendadah (galium pentaoksida) dan 2-metoksietanol [$H_3COOCH_2CH_2OH$, 99%] dicampur kemudian dikocok secara manual selama 1 jam (campuran tersebut biasa disebut *precursor*). Kemudian *precursor* dipanaskan pada permukaan setrika dengan temperatur ± 120 °C selama 5 menit agar bahan-bahan tercampur secara merata. Kemudian *precursor* tersebut disaring dengan kertas saring agar didapat larutan yang lebih homogen [9,13].

Substrat diletakkan di atas reaktor *spin coating* yang telah diberi perekat. Bagian tengah substrat Si (100) tipe-n ditetesi larutan *precursor* sebanyak 2 tetes. Kemudian reaktor *spin coating* diputar pada 3000 rpm selama 30 detik. Substrat Si (100) tipe-n yang telah diproses dipanaskan di atas permukaan setrika selama satu jam pada temperatur ± 120 °C. Substrat siap diproses langkah selanjutnya yaitu *annealing*.

Annealing dilakukan menggunakan *furnace* model Vulcan™3-130. Proses *annealing* untuk setiap substrat dilakukan pada temperatur 850 °C, 900 °C dan 950 °C dan variasi pendadah galium, sehingga sampel yang didapat sebanyak sembilan buah film. *Annealing* dimulai dari temperatur ruangan dengan kenaikan 1,7 °C/menit sampai didapat temperatur *annealing* 850 °C, 900 °C dan 950 °C. Kemudian ketika temperatur *annealing* telah dicapai maka dilakukan penahanan temperatur tersebut selama 15 jam. Tahapan terakhir yaitu penurunan temperatur *furnace* (*furnace cooling*) sampai didapat temperatur ruang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Karakterisasi Resistansi dan Konduktivitas Listrik

Material yang telah melalui proses *annealing* dibentuk dalam struktur MFM diukur nilai resistansinya. Resistansi suatu material bergantung dengan panjangnya L dan berbanding terbalik dengan nilai konduktivitas listrik dan luas penampang lintangnya A sesuai persamaan 3.1 [14,15] :

$$R = \frac{L}{\sigma A} \quad (3.1)$$

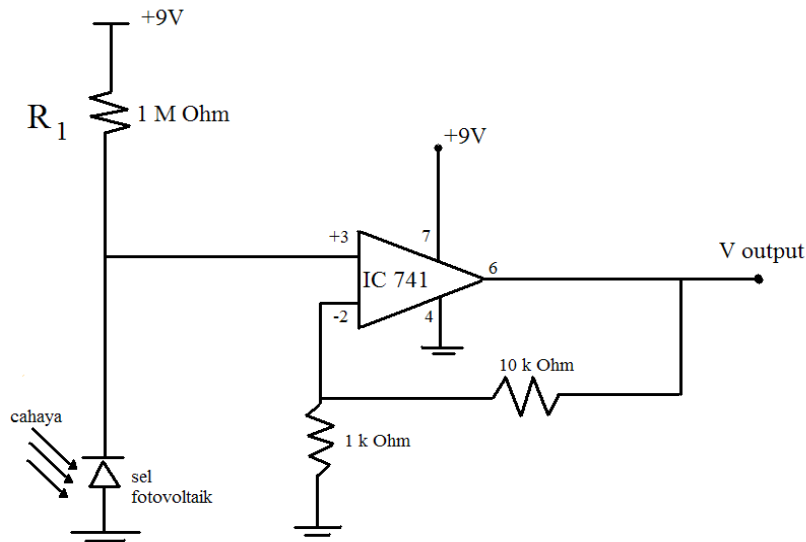
keterangan σ adalah konduktivitas listrik material yang bergantung pada temperatur. Konduktivitas listrik adalah salah satu konstanta empiris yang dimiliki setiap material dan nilainya berbeda-beda untuk setiap bahan [14,15].

Pengukuran resistansi film tipis BGST dilakukan dengan menggunakan rangkaian elektronik *Op-Amp* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Nilai resistansi yang terukur, berasal dari konversi dari nilai tegangan dengan menggunakan persamaan 3.2 : [16]

$$R_{ft} = \frac{V_{ft} R_1}{V_{total} - V_{ft}} \quad (2.2)$$

di mana R_{ft} merupakan adalah hambatan film tipis, V_{ft} adalah tegangan film tipis yang terukur pada multimeter setelah dibagi penguat tegangan (penelitian ini menggunakan penguat tegangan sebesar 10 kali), V_{total} adalah tegangan total (tegangan 9V ditambah tegangan film tipis) dan R_1 adalah hambatan yang digunakan.

Perhitungan nilai konduktivitas σ film tipis berdasarkan pengukuran nilai resistensi dengan menggunakan persamaan 3.1. Pada percobaan ini nilai panjang film tipis BGST $L = 4 \cdot 10^{-3}$ m dan nilai luas penampang lintangnya $A = 1.35 \cdot 10^{-9}$ m². Tebal film tipis sebesar 0.675 μ m [9]. Hasil perhitungan nilai konduktivitas film tipis BGST yang didapat diklasifikasikan berdasarkan Gambar 1.2 agar diketahui bersifat semikonduktor, atau isolator atau konduktor.



Gambar 3.1. Rangkaian elektronik *Op-Amp* pengukuran resistansi [16].

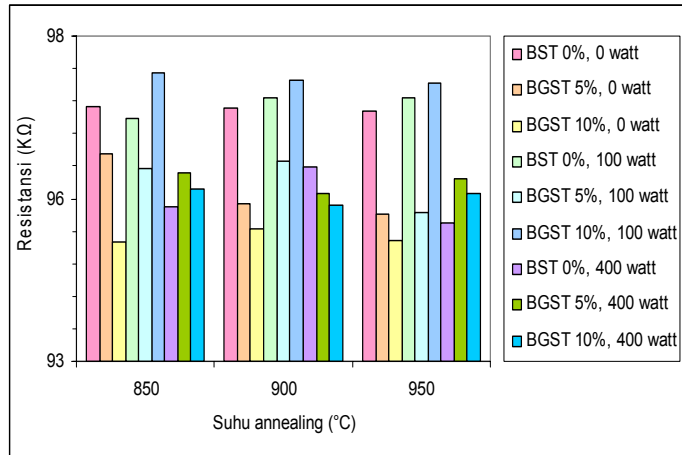
Pengukuran besaran resistansi film tipis BGST dilakukan dengan menyinari sel tersebut dengan variasi daya lampu 0, 100, dan 400 watt kemudian kontak ohmik alumunium yang terletak di atas BST maupun BGST 5% dan 10% dihubungkan dengan rangkaian aplikasi *Op Amp: resistance*.

Pada rangkaian aplikasi *Op Amp* tersebut digunakan hambatan referensi sebesar 10 K Ω dan hambatan input 1 K Ω . Hambatan yang digunakan tidak terlalu besar hal ini dilakukan guna mengurangi sinyal *noise* yang dapat mempengaruhi nilai keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian. Penguatan yang dihasilkan dari rangkaian tersebut sebesar 11 kali.

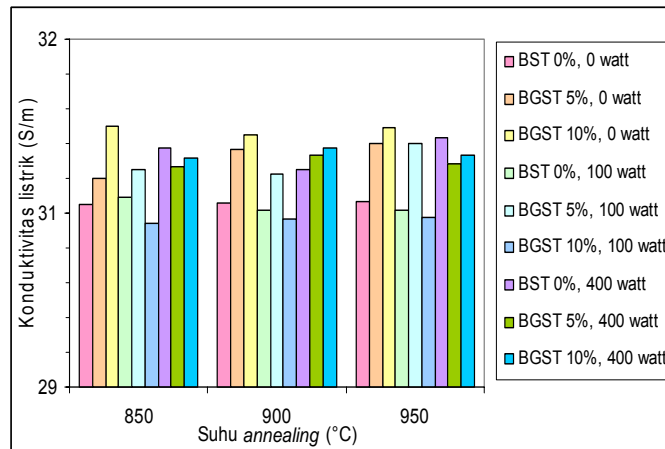
Berdasarkan gambar rangkaian 3.1 didapatkan bahwa sinyal keluaran yang dihasilkan dari rangkaian ini merupakan besaran tegangan namun melalui persamaan 3.1 dilakukan konversi dari tegangan menjadi resistansi dan berdasarkan persamaan 3.2 didapat konduktivitas listrik .

Gambar 3.1 dan 3.2. merupakan hasil pengukuran resistansi dan konduktivitas film tipis BST dan BGST berstruktur metal-ferroelektrik-metal. Pada gambar 3.2 didapatkan nilai konduktivitas dari film tipis BST dan BGST yang digunakan memiliki orde minimum 30,00 S/m sampai 31,25 S/m. Maka film yang digunakan merupakan bahan semikonduktor berdasarkan gambar 1.2. Pada hasil tersebut dapat dilihat pengaruh konsentrasi pendadah terhadap nilai resistansi film tipis. Ketika sel fotovoltaik pada kondisi penyinaran 0 watt tampak bahwa kenaikan konsentrasi pendadah Ga menurunkan nilai resistansi tetapi meningkatkan nilai konduktivitas listrik namun pada 100 watt dan 400 watt kenaikan konsentrasi pendadah Ga justru menaikkan nilai resistansi dan menurunkan konduktivitas listrik. Hal ini terjadi karena peningkatan konsentrasi pendadah menyebabkan peningkatan cacat kristal pada film tipis yang digunakan, dimana dengan adanya pendadah maka struktur ketakteraturan cukup banyak sehingga mengganggu penjalaran elektron.

Pengaruh temperatur terhadap nilai konduktivitas listrik (lihat gambar 3.2) memiliki hubungan yang berbanding lurus, artinya peningkatan suhu *annealing* menimbulkan kenaikan nilai konduktivitas listrik. Hal ini terjadi akibat peningkatan suhu *annealing* menyebabkan peningkatan evaporasi lapisan film tipis sehingga ketebalan lapisan film tipis berkurang dan cacat strukturnya menurun. Kenaikan konduktivitas akibat elektron yang mengalir akan meningkat karena terjadinya hamburan dengan cacat kristal yang cenderung menurun.



Gambar 3.1. Hasil pengukuran resistansi film tipis BST, BGST 5%, dan BGST 10% (MFM)



Gambar 3.2. Hasil pengukuran konduktivitas film tipis BST, BGST 5%, dan BGST 10% (MFM)

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Telah berhasil ditumbuhkan film tipis $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$ dan $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3-Ga_2O_3$ di atas substrat Si (100) tipe-*n* dengan menggunakan metode *chemical solution deposition* (CSD). Film tipis BST dan BGST merupakan bahan semikonduktor yang memiliki nilai konduktivitas listrik sekitar 30 S/m.

Saran

Karakteristik listrik dari $\text{Al/Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3/n\text{-Si}$ dan $\text{Al/Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3\text{Ga}_2\text{O}_3/n\text{-Si}$ mengindikasikan bahwa piranti tersebut dapat menghantarkan arus dan tegangan pada suhu ruang sehingga disarankan pada penelitian selanjutnya piranti tersebut dapat diaplikasikan dalam pembuatan transistor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Y. Seo, S. W. Park. Chemical Mechanical Planarization Characteristic of Ferroelectric Film for FRSM Applications. *Journal of Korean Physical Society*, Vol **45**, No.3, Page 769-772, (2004).
- [2] M. E. Lines, A. M. Glass. Principles and Applications of Ferroelectric and Related Materials. *Clarendon Press*. Great Britain, (1977).
- [3] Irzaman, Y. Darvina, A. Fuad, P. Arifin, M. Budiman and M. Barmawi. 2003. Physical and pyroelectric properties of tantalum-oxide-doped lead zirconium titanate $[\text{Pb}_{0.995}\text{O}(\text{Zr}_{0.525}\text{Ti}_{0.465}\text{Ta}_{0.010})\text{O}_3]$ thin films and their application for IR sensor, *phys, stat, sol (a)* **199**, No.3, 416-424.
- [4] Irzaman, M. N. Indro dan R.I. Priatna. 2007. Sifat Ferroelektrik Lapisan Tipis PZT dan PNZT yang Ditumbuhkan dengan Metode CSD, *Jurnal Agritek IPM Malang*, **15**, no. 1, 157 - 164.
- [5] Miles. R. W. 2006. Photovoltaic solar cells; Choice of materials and production methods, science direct, *Vacuum*, **80**, 1090-1097.
- [6] Galiana, B., I. R. Stole, M. Baudrit, I. Garcia and C. Algora. 2006. A comparative study of BSFlayers for GaAs-based single-junction or multijunction concentrator solar cells, *Institute of physics publishing, Semicond, Sci. Technol*, **21**, 1387-1392.
- [7] Fuad, A., M. Barnawi, P. Arifin, D. Kurnia, Bilalodin dan Awitdrus. 1999. Karakterisasi Kapasitansi-Tegangan Film Tipis Ferroelektrik $\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3$ dengan struktur Metal-Ferroelektrik-Semikonduktor (MFS) dan potensi penerapannya pada memori, *Proceedings, Industrial Electronic Seminar*.
- [8] Sunandar, C. 2006. Penumbuhan Film $\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$ dan BaFeSrTiO_3 dan Observasi Sifat Ferroelektriknya, *Skripsi, Departemen Fisika, Institut Pertanian Bogor*.
- [9] Frimasto, H., Irzaman, M Kurniati. 2006. Sifat Optik Film Tipis Bahan Ferroelektrik BaTiO_3 yang didadah tantalum (BTT), *Prosiding seminar nasional keramik V*, ISSN : 1693-7163, 146-157.
- [10] Miao, J., Y. Wang, H. Y. Tian, X. Y. Zhou, H. L. W. Chan, C.L. Choy, L. X. Cao and B.R.Zhao. 2006. A quantitative analysis on the interfacial effect in the interfacial effect in the $\text{Pt}/\text{Ba}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{TiO}_3/\text{La}_{0.67}\text{Sr}_{0.33}\text{MnO}_3$ heterostructure, *J. Phys. D: Appl. Phys*, **39**, 2565-2570.
- [11] Sumardi, T. 2004. Penumbuhan Film Tipis Bahan $\text{PbZr}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ Doping In_2O_3 (PIZT) Dengan Metode Chemical Solution Deposition (CSD), *Skripsi, Departemen Fiika, Institut Pertanian Bogor*.
- [12] Kwok, K. N. 1995. Complete Guide To Semiconductor Device, *McGraw-Hill, inc.* .
- [13] Tombak, A., J-P. Maria, F. T. Agyuavuves, Z. Jin, G. T. Stauf, A. I. Kingon and A. Mortazawi. 2003. Voltage-controlled RF filters employing thin-film barium-strontium-titanate tunable capacitors, *IEEE transactions on microwave theory and techniques*, Vol. **51**, No. 2.
- [14] Griffiths, D. J. 1995. Introduction To Electrodynamics, *Prentice-Hall of India Private Limited*.
- [15] Tipler, P. A. 1991. PHYSICS for Scientist and Engineers, Worth Publisher, Inc.,
- [16] Neamen, D. A. 2001. Electronic Circuit Analysis and Design, *New York. Mc Graw Hill*, International Edition.