

## UJI SIFAT ELEKTRONIK FILM $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ DENGAN METODE WERNER

E. Rancasa<sup>1\*</sup>, H. Alatas<sup>2</sup>, Irzaman<sup>2,\*\*</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Biofisika Pascasarjana IPB

<sup>2</sup>Departemen Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Pertanian Bogor

\*rancasa60@gmail.com, koresponden: \*\*irzamanhusein@yahoo.com

### ABSTRACT

*In this study,  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ (BST) films were grown on p-silicon substrates using chemical solution deposition (CSD) and were annealed at 850°C for 15 hours. Then contact were made on its. Measurement of electrical properties has been observed using sourcemeter and then its were analyzed using werner method to extract series resistance and ideality factor. Then value of series resistance was used to correct voltage data  $V_d$ . Then graphs of  $V_d - Ln I$  were analyzed to extract saturation current, barrier potential and ideality factor. The increasing of mol fraction of Ba caused increasing in saturation current and reduces value of series resistance, ideality factor and barrier potential.*

*Keyword: BST, Werner method, series resistance, saturation current, barrier potential, ideality factor.*

### ABSTRAK

*Pada studi ini, Film BST telah dibuat pada substrat silikon tipe p menggunakan metode chemical solution deposition (CSD) dan kemudian diannealing pada suhu 850°C selama 15 jam. Selanjutnya dibuat kontak. Pengukuran sifat listrik menggunakan source meter dan kemudian dianalisis menggunakan metode werner untuk mendapatkan nilai hambatan seri dan faktor idealitas. Selanjutnya nilai hambatan seri digunakan untuk mengoreksi data tegangan( $V_d$ ). Kemudian dilakukan analisis terhadap hubungan  $V_d - Ln I$  untuk menghasilkan arus saturasi, potensial penghalang dan faktor idealitas. Peningkatan fraksi mol Ba meningkatkan nilai arus saturasi dan menurunkan nilai hambatan seri, faktor idealitas dan potensial penghalang.*

*Kata kunci: BST, metode werner, hambatan seri, arus saturasi, potensial penghalang dan faktor idealitas*

### PENDAHULUAN

$Ba_xSr_{1-x}TiO_3$  atau BST merupakan material semikonduktor yang dapat diterapkan dalam bidang elektronika sebagai kapasitor,<sup>1,2</sup> sensor,<sup>3,4</sup> dan fotodiode.<sup>5</sup> Berkaitan dengan penggunaannya sebagai piranti elektronika, BST membutuhkan kontak sebagai penghubung dengan piranti elektronika lainnya. Kualitas kontak, yang dinyatakan dengan faktor idealitas

[ $n$ ], merupakan faktor penting bagi kinerja sebuah BST. Kemudian potensial penghalang,  $\Phi_b$ , memberikan gambaran tentang struktur atom antarmuka dan ketidakhomogenan antarmuka.<sup>6</sup> Parameter elektronika lainnya seperti hambatan seri  $R_s$ , hambatan paralel  $R_{sh}$ , arus saturasi  $I_s$  juga perlu untuk diketahui. Menurut Daraee *et.al.*<sup>7</sup> data hambatan seri,  $R_s$ , diperlukan dalam menentukan responsivitas sebuah detektor. Di samping itu, menurut Kiuru *et.al.*<sup>8</sup> data parameter elektronika ini dibutuhkan dalam membuat model desain alat yang reliabel.

Penentuan parameter elektronik dari sebuah dioda biasanya didekati dengan model diode Schottky pada pemberian tegangan panjar maju melalui persamaan (9)<sup>9</sup>

$$I = A^*AT^2 \exp\left(-\frac{\Phi_b}{kT}\right) \exp\frac{q(V-R_s I)}{nkT} = I_s \exp\frac{q(V-R_s I)}{nkT} \quad (1)$$

Selanjutnya, dengan mengambil nilai  $\ln(I)$  dari persamaan di atas maka didapatkan persamaan (2)

$$\ln\left(\frac{I}{A^*AT^2}\right) = \frac{qV}{nkT} - \frac{\Phi_b}{kT} - \frac{qR_s I}{nkT} \quad (2)$$

Kemudian dengan memisalkan  $f(V) = \ln\left(\frac{I}{A^*AT^2}\right)$ , dan  $\beta = \frac{q}{kT}$  maka persamaan di atas dapat diubah menjadi<sup>9</sup>

$$f(V) = \beta \frac{V}{n} - \beta \frac{\Phi_b}{q} - \beta \frac{R_s I}{n} \quad (3)$$

Untuk kasus dioda ideal, nilai  $R_s = 0$ , turunan terhadap tegangan dari persamaan (3) memberikan nilai<sup>9</sup>

$$\frac{df(V)}{dV} = \frac{\beta}{n} \quad (4)$$

Untuk kasus dioda riil, nilai  $R_s \neq 0$  sehingga turunan terhadap tegangan dari persamaan (3) memberikan nilai<sup>9</sup>

$$\frac{df(V)}{dV} = \frac{\beta}{n} - \frac{\beta R_s}{n} \frac{dI}{dV} \quad (5)$$

dengan menggunakan differensial konduktansi  $G = dI/dV$  dan nilai identitas  $d\frac{\ln(I)}{dV} = \left(\frac{1}{I}\right) dI/dV$  maka persamaan (5) dapat diubah menjadi persamaan (6) yang dikenal dengan Metode Werner:<sup>9</sup>

$$\frac{df(V)}{dV} = \frac{G}{I} = \frac{\beta}{n} [1 - R_s G] \quad (6)$$

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan apakah BST menunjukkan karakteristik dioda atau tidak dan menentukan parameter elektronik yang berhubungan dengan struktur ini dengan menggunakan

metode Warner serta membandingkan parameter elektronik BST untuk fraksi mol Ba yang berbeda.

## METODOLOGI

Silikon tipe p berbentuk lingkaran, berdiameter 5.9 mm, telah digunakan sebagai substrat penumbuhan film BST 1 M. Substrat telah dicuci menggunakan larutan HF/H<sub>2</sub>O (1:5) dengan cara mencelupkannya selama kurang dari 10 detik. Selanjutnya substrat dibilas menggunakan aquades dan dikeringkan menggunakan kertas tisu. Kemudian penumbuhan film dilakukan dengan teknik *chemical solution deposition* (CSD).<sup>10</sup> Substrat film kemudian *diannealing* dengan kenaikan suhu 1.67°C/menit sehingga mencapai suhu 850°C dan ditahan selama 15 jam. Tahap selanjutnya, pada substrat film dibuat kontak aluminium berukuran 2.25 mm<sup>2</sup> menggunakan metode MOCVD. Pada kontak ini selanjutnya ditempelkan serat kabel berkonduktivitas tinggi menggunakan pasta perak. Pengukuran I – V sampel menggunakan *sourcemeater* Keithley 2400 seperti tampak pada Gambar 1.

Data I - V yang didapat dilicinkan menggunakan teknik *moving average* menggunakan lima titik data. Selanjutnya untuk menentukan turunan dl/dV digunakan metode aproksimasi polinomial kuadrat terkecil bertitik lima melalui persamaan<sup>11</sup>

$$\frac{dI}{dV}(V_k) = \left( \frac{1}{10(V_{k+1}-V_k)} \right) (-2I_{k-2} - I_{k-1} + I_{k+1} + 2I_{k+2}) \quad (7)$$

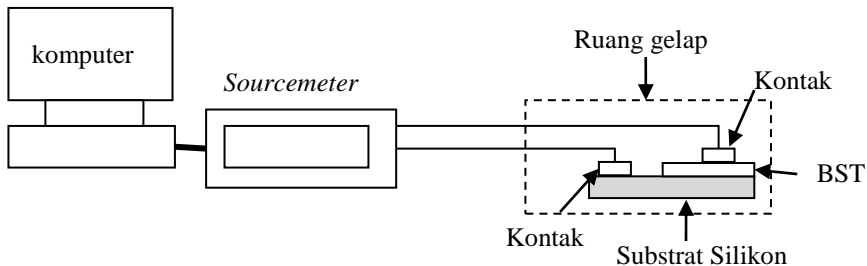
Kemudian untuk turunan di dekat ujung-ujung bekalan data ditentukan melalui persamaan<sup>11</sup>

$$\frac{dI}{dV}(V_0) = \left( \frac{1}{20(V_1-V_0)} \right) (-21I_0 + 13I_1 + 17I_2 - 9I_3) \quad (8a)$$

$$\frac{dI}{dV}(V_1) = \left( \frac{1}{20(V_1-V_0)} \right) (-11I_0 + 3I_1 + 7I_2 + I_3) \quad (8b)$$

$$\frac{dI}{dV}(V_{n-1}) = \left( \frac{1}{20(V_n-V_{n-1})} \right) (11I_n - 3I_{n-1} - 7I_{n-2} - 9I_{n-3}) \quad (8c)$$

$$\frac{dI}{dV}(V_n) = \left( \frac{1}{20(V_n-V_{n-1})} \right) (21I_n - 13I_{n-1} - 17I_{n-2} + 9I_{n-3}) \quad (8d)$$

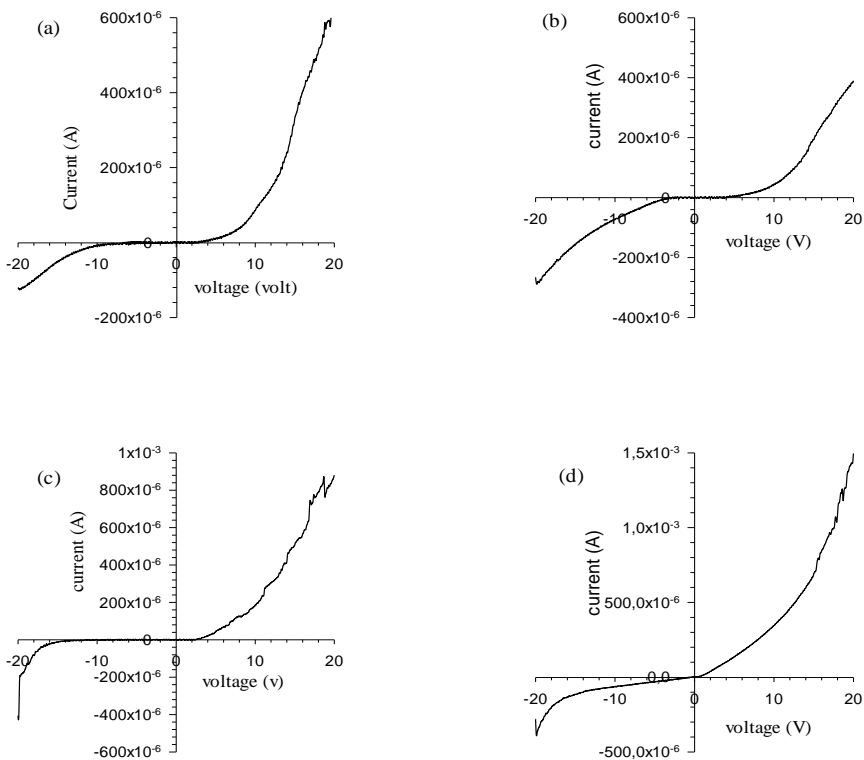


Gambar 1 Setting alat pengukuran I – V

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Sifat Listrik

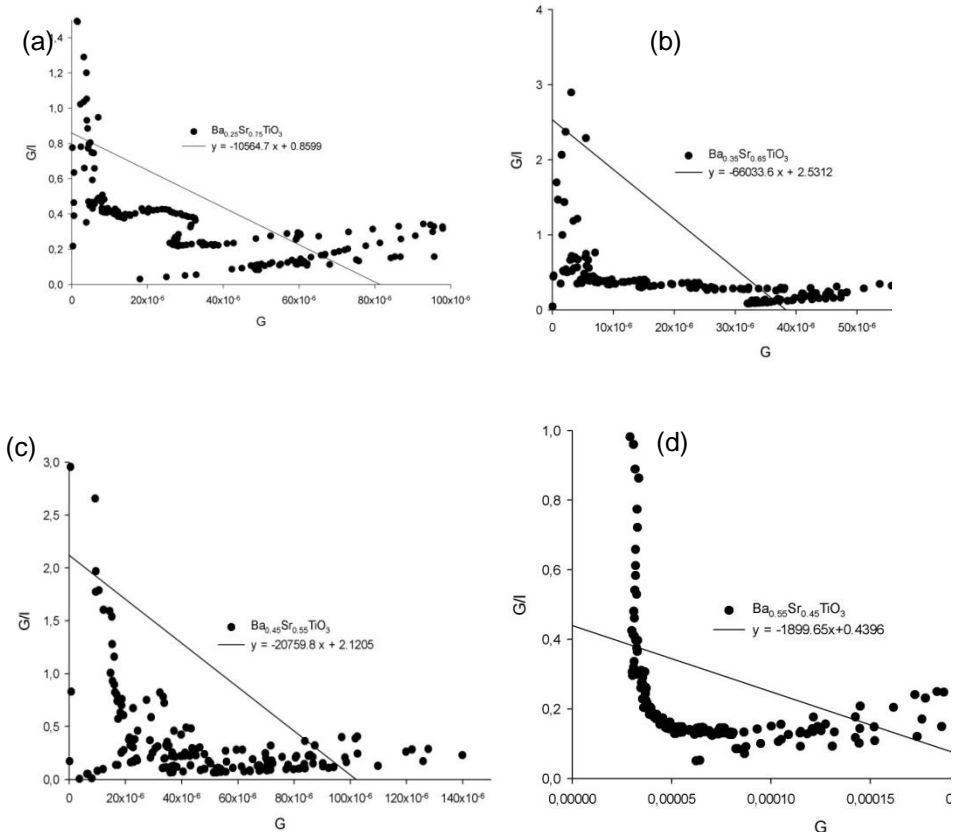
Karakteristik  $I - V$  dari BST pada suhu ruang ditunjukkan pada Gambar 2. Seperti terlihat pada Gambar 2, karakteristik  $I - V$  untuk masing-masing fraksi mol BST menunjukkan sifat dioda yakni pada pemberian tegangan panjar maju arus meningkat secara eksponensial dan pada pemberian tegangan panjar mundur arus yang mengalir menunjukkan kebergantungan yang rendah terhadap tegangan.<sup>12</sup> Ini berbeda dengan hasil penelitian Irzaman *et.al.* yang menyatakan semuanya bersifat resistor.<sup>10</sup> Hal ini dimungkinkan karena perbedaan cara pencucian substrat silikon. Pada penelitiannya, Irzaman *et.al.*<sup>10</sup> menyatakan bahwa proses pencucian dilakukan dengan cara memasukkan substrat silikon ke dalam larutan HF:H<sub>2</sub>O dan membiarkannya selama 30 detik sedangkan pada penelitian ini hanya dengan cara dicelupkan dalam waktu kurang dari 10 detik. Lama waktu pencucian kemungkinan cukup untuk terjadinya reaksi antara HF dan silikon seperti yang terjadi pada proses pengikisan (*etching*).<sup>13,14</sup>



Gambar 2. Kurva  $I - V$   $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$ : (a)  $Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO_3$ , (b)  $Ba_{0.35}Sr_{0.65}TiO_3$   
(c)  $Ba_{0.45}Sr_{0.55}TiO_3$  (d)  $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$

## Penghitungan Parameter Listrik dengan Metode Werner

Penentuan parameter elektronik berupa hambatan seri ( $R_s$ ) dan faktor idealitas diode ( $n$ ) didasarkan pada Persamaan (6) atau disebut juga dengan istilah metode werner. Persamaan tersebut menunjukkan bahwa plot grafik  $G$  terhadap ( $G/I$ ) akan menghasilkan garis lurus. Perpotongan garis lurus tersebut terhadap sumbu  $y$  memberikan nilai  $\beta/n$  dan perpotongan terhadap sumbu  $x$  akan memberikan nilai  $1/R_s$ . Plot grafik persamaan (6) tampak pada Gambar 3. Nilai  $R_s$  dan  $n$  untuk masing-masing fraksi mol Ba terlihat pada Tabel 1.



Gambar 3. Grafik Plot  $G - G/I$ : (a)  $Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO_3$  (b)  $Ba_{0.35}Sr_{0.65}TiO_3$  (c)  $Ba_{0.45}Sr_{0.55}TiO_3$  (d)  $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$

Penentuan faktor idealitas,  $n$ , arus saturasi,  $I_s$ , dan potensial penghalang,  $\Phi_b$ , dilakukan dengan cara mengkoreksi data nilai tegangan melalui persamaan berikut

$$V_d = V - R_s I \quad (9)$$

Selanjutnya dengan membuat grafik  $V_d$  terhadap  $\ln(I)$  yang bersesuaian kita dapatkan nilai perpotongan terhadap sumbu  $y$ ,  $y_{int}$ , untuk menentukan nilai  $I_s$  melalui persamaan (10)

$$I_s = e^{yint} \quad (10)$$

Selanjutnya nilai gradien,  $m$ , dari grafik tersebut digunakan untuk menentukan nilai faktor idealitas melalui persamaan berikut

$$n = \frac{q}{mkT} \quad (11)$$

Kemudian untuk penentuan potensial penghalang,  $\Phi_b$ , didapat dari persamaan teori emisi termionik

$$I_s = A^*AT^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_b}{kT}\right) \quad (12)$$

Selanjutnya dengan bantuan sifat fungsi  $\ln$  dan merekomposisi persamaan sehingga didapatkan rumus potensial penghalang adalah sebagai berikut

$$\Phi_b = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{A^*AT^2}{I_s}\right) \quad (13)$$

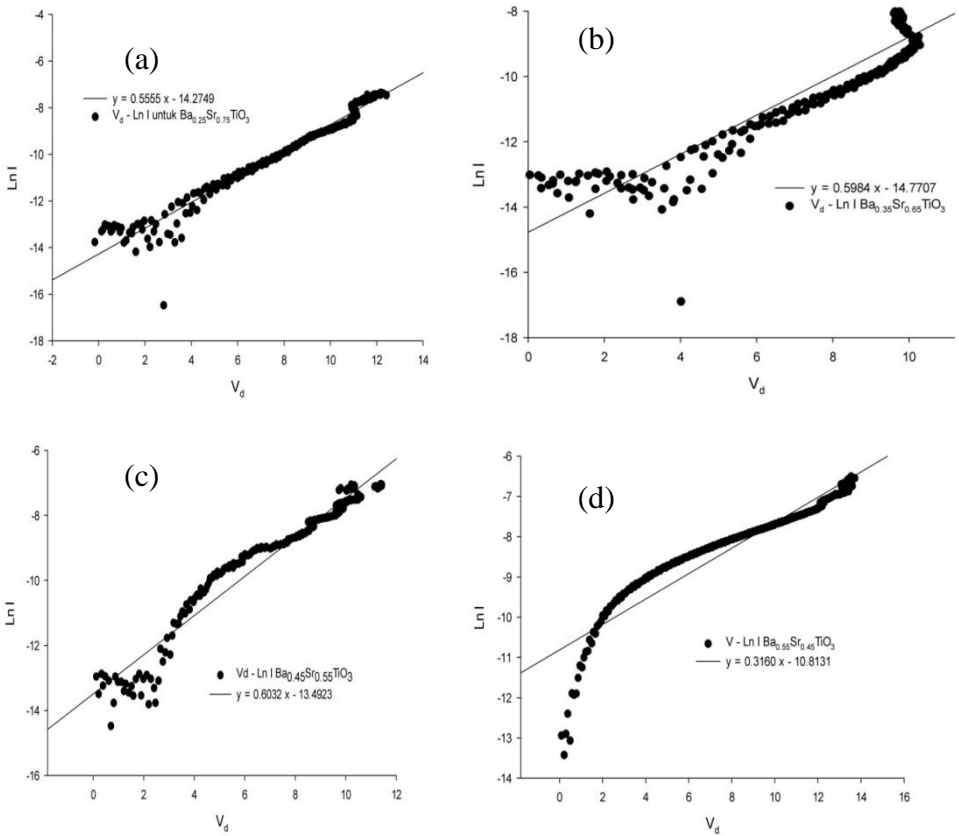
Grafik  $V_d - \ln I$  tampak pada Gambar 4. Berdasarkan grafik tersebut maka diperoleh parameter elektronik untuk masing-masing fraksi mol Ba seperti terlihat pada Tabel 3. Dalam penentuan parameter elektronika ini telah digunakan nilai konstanta Richardson  $A^*$ , luas kontak  $A$ , dan suhu  $T$ , secara berturut-turut  $32 \text{ A.cm}^{-2}.\text{K}^{-2}$ ,  $0.0225 \text{ cm}^2$  dan  $300 \text{ K}$ .

Tabel 1 Nilai hambatan seri ( $R_s$ ) dan faktor idealitas ( $n$ ) film BST dengan fraksi mol Ba

Fraksi mol Ba (x)	$R_s$ (k $\Omega$ )	$n$
0.25	12.3	45
0.35	26.1	15
0.45	9.79	18
0.55	4.32	88

Tampak pada Tabel 4 arus saturasi meningkat dengan peningkatan fraksi mol Ba sebaliknya potensial penghalang, hambatan seri ( $R_s$ ) dan faktor idealitas cenderung berkurang dengan peningkatan fraksi mol Ba. Kemudian untuk nilai  $R_s$  terbesar dimiliki oleh fraksi mol Ba 0,35 sedangkan  $R_s$  terkecil dimiliki oleh fraksi mol 0,55. Menurut Çentinkaya *et.al.*<sup>15</sup> Ini diduga karena homogenitas permukaan film and derajat kistralinitas. Nilai faktor idealitas yang didapat lebih besar dari 2 dimungkinkan karena terdapat persambungan p-n, unipolar heterojunction dan persambungan logam-semikonduktor seperti yang dinyatakan oleh Shah *et.al.*<sup>16</sup> Tambahan pula, menurut Çentinkaya *et.al.*<sup>15</sup> faktor idealitas yang lebih besar dari ideal diantaranya berkaitan dengan mekanisme aliran arus pada bagian struktur

film, ketidakhomogenan potensial penghalang, pembentukan dan rekombinasi elektron-hole, hambatan seri dan *image force*. Kemudian menurut Saroj Bala<sup>17</sup> ketebalan film juga memberikan pengaruh pada nilai potensial penghalang dan faktor idealitas.



Gambar 4. Hubungan  $V_d - \ln I$  : (a)  $Ba_{0.25}Sr_{0.75}TiO_3$  (b)  $Ba_{0.35}Sr_{0.65}TiO_3$  (c)  $Ba_{0.45}Sr_{0.55}TiO_3$  (d)  $Ba_{0.55}Sr_{0.45}TiO_3$

Tabel 3 Parameter elektronik  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$

Fraksi BST	Arus Saturasi, $I_s$ ( $\mu A$ )	Faktor idealitas, $n$	Potensial penghalang, $\phi$ (eV)
0.25	0.632	70	0.656
0.35	0.385	65	0.669
0.45	1.38	64	0.636
0.55	20	122	0.566

## SIMPULAN

Perubahan parameter elektronik BST berupa hambatan seri, arus saturasi, potensial penghalang, dan faktor idealitas dipengaruhi oleh perubahan fraksi mol Ba. Peningkatan fraksi mol Ba cenderung menurunkan nilai hambatan seri, potensial penghalang dan faktor idealitas. Sebaliknya peningkatan fraksi mola Ba cenderung meningkatkan arus saturasi.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Tombak A, Ayguavives FT, Maria J-P, Stauf GT, Kingon AI, Mortazawi A. Tunable RF filters using thin film barium strontium titanate based capacitors. *Microwave Symposium Digest, 2001 IEEE MTT-S International*. 2001; 3. 1453 – 1456.
2. Watt MM, Woo P, Rywak T, McNeil L, Kassam A, Joshi V, Cuchiario JD and Melnick BM. Feasibility demonstration of a multi-level thin film BST capacitor technology. *Applications of Ferroelectrics - Proceedings of the Eleventh IEEE International Symposium*. 1998. 11 – 14.
3. Syafutra H, Irzaman and Subrata IDM. Integrated visible light sensor based on thin film ferroelectric material BST to microcontroller ATmega 8535. *The International Conference on Materials Science and Technology*. 2010; 1 (1). 291-296.
4. Fang X, Tan OK, Tse MS and Ooi EE. A label-free immunosensor for diagnosis of dengue infection with simple electrical measurements. *Biosensor and Bioelectronics*. 2010; 25. 1137 – 1142.
5. Irzaman, Darmasetiawan H, Hardhienata H, Hikam M, Arifin P, Jusoh SN, Taking S, Jamal Z, Idris MA. Surface roughness and grain size characterization of effect of annealing temperature for growth gallium and tantalum doped  $Ba_{0.5}Sr_{0.5}TiO_3$  thin film. *Journal Atom Indonesia*. 2009; 35 (1). 57-67.
6. Yeganeh MA, Rahmatullahpur Sh, Nozad A and Mamedov RK: Effect of diode size and series resistance on barrier height and ideality factor in nearly ideal Au/n type-GaAs micro schottky contact diodes. *Chin Phys B*. 2010; 19(10): 107207-1 – 107207-8.
7. Daraee M, Hajian M, Rastgoo M and Lavasanpour L: Study of electrical characteristic of surface barrier detector with high series resistance. *Adv Studies Theor Phys*. 2008; 2(20): 957 – 964.
8. Kiuru T, Mallat J, Räsänen AV and Närhi T: Schottky diode series resistance and thermal resistance extraction from s-parameter and temperature controlled I-V measurements. *IEEE transactions on microwave theory and techniques*. 2011; 59(8): 2108 – 2116.



9. Aubry V and Meyer F. Schottky diode with high series resistance: Limitations of forward I - V methods. *J Appl Phys.* 1994; 76(12): 7973 – 7984.
10. Irzaman, Syafutra H, Rancasa E, Nuayi AW, Nurrahman TG, Nuzulia NA, Supu I, Sugianto, Tumimomor F, SURIANTY, Muzikarno O, Masrur. The effect of Ba/Sr ratio on electrical and optical properties of  $Ba_xSr_{1-x}TiO_3$  thin film semiconductor. *Ferroelectric.* 2013;445.4-17.
11. Scheid F. Teori dan soal-soal metode numerik. Silaban P, penerjemah. Jakarta (ID): Penerbit Erlangga. Terjemahan dari Theory and problems of numerical analysis. 1992: 259 – 291.
12. Akkilic K, Uzun I, Kilicoglu T. The calculation of electronic properties of an Ag/chitosan/n-Si schottky barrier diode. *Synthetic Metal.* 2007; 157: 297 – 302.
13. Muñoz EC, Heyser CA, Schrebler RS, Henriquez RG and Marotti RE: Photoelectrochemical reduction of nitrate ions on porous silicon and different silicon modified electrodes. *J Chil Chem Soc.* 2011; 56: 781 – 785.
14. Habuka H, Mizuno K, Ohashi S and Kinoshita T: Surface chemical reaction model of silicon dioxide film etching by dilute hydrogen fluoride using a single wafer wet etcher. *ECS Journal of solid state science and technology.* 2013; 2(6): P264 – P267.
15. Cetinkaya S, Cetinkara HA, Bayansal F, Kahraman S. Growth and characterization of CuO nanostructure on Si for the fabrication of CuO/p-Si schottky diodes. *The scientific world journal.* 2013.
16. Shah JM, Li YL, Gessmann Th and Schubert EF: Experimental analysis and theoretical model for anomalously high ideality factors ( $n \gg 2.0$ ) in AlGaIn/GaN p-n junction diodes. *J Appl Phys.* 2003; 94(4): 2627 – 2630.
17. Bala S. The role of interface state density in I-V characteristics of metal-semiconductor contact with interfacial layer. *International journal of emerging technology and advanced engineering.* 2012; 2(12): 364 – 368.