

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN DIVAIS SENSOR GAS CO BERBASIS INDIUM TIMAH OKSIDA (ITO) DENGAN TEKNOLOGI LAPISAN TIPIS

DESIGN AND DEVELOPMENT OF CO GAS SENSOR DEVICE FROM INDIUM TIN OXIDE-BASED WITH THIN COATING TECHNOLOGY

Slamet Widodo dan Goib Wiranto

Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (PPET-LIPI)
Jl. Cisit No.21/154D, Komplek LIPI Sangkuriang,
Bandung-40135, Indonesia
Email: slametwidodo50@gmail.com ; gwiranto@gmail.com

Diterima: 07 Maret 2015, Revisi: 20 Maret 2015, Disetujui: 08 April 2015

ABSTRAK

Tulisan ini menjelaskan tahapan proses pembuatan mikrodivais yang akan digunakan sebagai platform sensor gas karbon monoksida (CO) berbasis indium timah oksida (ITO). Divais yang dibuat telah dirancang diatas substrat silikon dengan daerah aktif berukuran $3 \times 3 \text{ mm}^2$, dan terdiri dari *bonding pad*, komponen *heater*, elektroda, dan sensor temperatur. Lebar jalur minimum adalah 50 mikron, sesuai dengan kemampuan proses fotolitografi yang digunakan. Pembentukan struktur mikrodivais dilakukan utamanya menggunakan teknik *lift-off* lapisan platina (Pt) yang dilapiskan menggunakan metode DC *sputtering* dengan lapisan aluminium (Al) sebagai *sacrificial layer*. Dimensi chip mikrodivais yang dihasilkan berukuran $5 \times 5 \text{ mm}^2$. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik *resistance* terhadap temperatur dari mikrodivais menunjukkan bahwa elemen *heater* dan sensor temperatur telah berfungsi seperti yang diharapkan, yaitu nilai resistansinya berubah secara linear dengan kenaikan temperatur substrat antara $20 - 200 \text{ }^\circ\text{C}$. Rentang kenaikan nilai resistansi untuk *heater* adalah antara $500 - 1000 \text{ ohm}$, sedangkan untuk sensor temperatur antara $100 - 300 \text{ ohm}$.

Kata kunci: Mikrodivais, proses *lift-off*, *sputtering*, elektroda, *heater*, sensor gas, ITO, gas CO.

ABSTRACT

In this paper it will be described the design and manufacturing of microdevice to be used as platform for Carbon monoxide (CO) gas sensor based on indium tin oxide (ITO). The device has been designed on silicon substrate with an active area of $3 \times 3 \text{ mm}^2$, and consisted of bonding pad, heater, electrode, and temperature sensor

components. The minimum feature size used is 50 microns, as allowed by the capability of photolithographic process. The formation of microdevice structure has been done mainly using lift-off technique on platinum (Pt) layer, which was deposited by DC sputtering with aluminium (Al) as sacrificial layer. The overall chip dimension is not more than $5 \times 5 \text{ mm}^2$. The measurement conducted to study the resistance versus temperature characteristics has shown that the heater and temperature sensor elements have functioned as expected, in which their resistances change linearly with an increase in substrate temperature between $20 - 200 \text{ }^\circ\text{C}$. The range of increase in resistance values for the heater is $500 - 1000 \text{ ohm}$, whereas for the temperature sensor is $100 - 300 \text{ ohm}$.

Keywords: Microdevices, lift-off process, sputtering, electrode, heater, gas sensor, ITO, CO gas.

PENDAHULUAN

Gas Karbon monoksida (CO) merupakan gas pencemar udara yang banyak dikeluarkan dari emisi kendaraan bermotor, terutama dari kendaraan-kendaraan bermesin diesel sebagai luaran dari proses pembakaran internal, diketahui sangat berbahaya bagi tubuh manusia. Dalam jumlah yang lebih sedikit, gas CO juga dapat dihasilkan dari proses pembakaran lain, seperti kompor gas, kebakaran hutan, dan proses industri. Selain sifatnya yang sangat beracun, gas CO juga tidak berbau (*odorless*), tidak berwarna

(*colorless*), tidak terasa (*tasteless*), dan tidak mengiritasi saluran pernapasan. Oleh karena itu, gas CO kadang dikenal sebagai “silent killer” atau “smart poison” karena bisa masuk ke dalam tubuh tanpa diketahui (1,2).

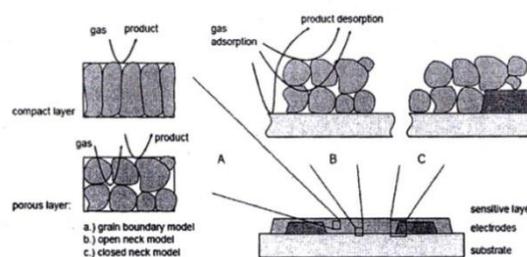
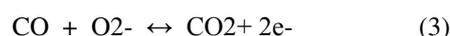
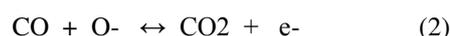
Pada era dimana teknologi sensor belum ditemukan, manusia menggunakan burung dan mamalia kecil untuk mendeteksi gas CO di daerah pertambangan. Dewasa ini, detektor gas CO telah berubah menjadi divais elektronik berukuran kecil, yang dapat dipasang di dalam rumah atau di garasi, dekat dengan sumber-sumber gas CO. Apabila terdeteksi dalam kadar yang cukup, sistem yang dipasang akan membunyikan alarm guna mengingatkan penghuni agar memberikan ventilasi atau melakukan evakuasi.

Sensor gas berbasis *semiconducting metal oxide* (SMO) pertama kali dipelajari tahun 1960-an oleh Seiyama⁽³⁾. Akan tetapi, baru tahun 1970 Taguchi⁽⁴⁾ berhasil membuat sensor gas SMO secara komersial. Awalnya, sensor Taguchi terbuat dari koil emas sebagai pemanas dan elektroda, dan timah oksida (SnO₂) sebagai lapisan sensitif terhadap gas. Dalam penelitian ini dilakukan proses pembuatan divais sensor gas CO berbasis Indium Timah Oksida (ITO), sebelumnya kami telah melakukan penelitian sintesis ITO nano partikel sebagai bahan aktif yang diaplikasikan pada sensor gas⁽⁵⁻⁷⁾. Hasil sintesis ITO nano partikel itu diterapkan / diaplikasikan dalam penelitian ini pada pembuatan mikrodivais sensor gas CO sebagai lapisan aktif atau lapisan sensitifnya. Dalam perkembangannya, sensor jenis SMO telah mengalami perubahan dari model Taguchi hingga sekarang bisa dibuat diatas silikon (dengan dimensi yang sangat kecil) menggunakan teknologi *Micro Electro Mechanical Systems* (MEMs).

Mekanisme kerja sensor gas berbasis SMO menyangkut beberapa proses yang saling berkaitan. Yang pertama adalah

terjadinya interaksi antar permukaan metal oksida (lapisan sensitif) dengan gas yang dideteksi (gas target). Interaksi ini menyebabkan terjadinya reaksi kimia, dimana sifat reaksinya ditentukan oleh unsur (ion-ion) oksigen yang ada di permukaan lapisan metal oksida. Yang kedua adalah proses perubahan sifat listrik (konduktivitas) dari dari lapisan metal oksida akibat dari reaksi kimia tersebut. Proses ini mula-mula hanya terjadi di daerah permukaan butiran partikel lapisan metal oksida. Yang ketiga adalah terjadinya akses oleh partikel metal oksida bagian dalam terhadap gas target. Terjadinya reaksi antara gas dengan permukaan metal oksida dapat dianggap sebagai sebuah proses difusi ke arah substrat dari sensor SMO.

Untuk gas-gas yang bersifat reduksi seperti CO, molekul-molekul CO bereaksi dengan ion oksigen yang terserap (dari udara) ke permukaan SMO. Oksigen yang terserap akan melepaskan elektronnya ketika bereaksi dengan molekul gas reduksi, sehingga meningkatkan konduktivitas dari lapisan SMO. Menggunakan model sederhana, ada tiga kemungkinan reaksi yaitu:



Gambar 1. Model mekanisme reaksi di permukaan sensor gas berbasis SMO^[8]

Untuk lapisan metal oksida yang padat (*compact*), molekul gas tidak dapat menembus lapisan sensitive dan proses interaksi hanya terjadi di permukaan. Apabila lapisannya bersifat porous, molekul gas bisa menembus ke dalam lapisan

sensitive sampai ke substrat. Interaksi dengan gas bisa terjadi di permukaan masing-masing butiran, di perbatasan antar butiran, di interface antara butiran dengan elektroda, dan di interface antara butiran dengan substrat⁽⁸⁾.

Dari reaksi diatas, terlihat bahwa perubahan konsentrasi oksigen di udara akan mengubah kecepatan reaksi redoks dan mempengaruhi sinyal output dari sensor. Hubungan antara konduktivitas lapisan SMO dengan konsentrasi gas target (C) dapat dinyatakan dengan

$$\sigma = k C^n \quad (4)$$

dimana k adalah konstanta proporsionalitas hasil pengukuran yang unik/khas terhadap lapisan SMO, dan eksponen n memiliki rentang dari 0,3 sampai 0,8. Karena sifatnya yang non-linear, biasanya diperlukan proses linearisasi melalui rangkaian elektronik atau software. Selain itu, agar material SMO dapat bereaksi dengan gas target (reaksi redoks dapat terjadi), perlu pemanasan dengan temperatur antara 90 – 250 °C. Menaikkan temperatur sensor berarti memerlukan elemen pemanas (*heater*) yang terintegrasi dengan sensor. Oleh karena itu, sensor gas SMO biasanya memerlukan konsumsi daya yang relatif besar.

TEKNOLOGI PEMBUATAN DIVAIS SENSOR GAS

Dengan kemajuan di bidang teknologi fabrikasi divais, sensor gas SMO memungkinkan dibuat diatas substrat keramik (teknologi lapisan tebal / *thick film*) atau silikon (teknologi lapisan tipis / *thin film*). Dalam teknologi *thick film*, digunakan substrat seperti Alumina (Al₂O₃), dan kemudian lapisan seperti elektroda, *heater*, dan metal oksida dicetak diatasnya menggunakan teknik *screen printing*. Karena ketebalan substrat dan lapisannya masih cukup besar, maka divais sensor yang dibuat menggunakan teknologi *thick film* masih memerlukan konsumsi daya

yang cukup besar, antara 200 mW – 1 W⁽⁹⁾. Konsumsi daya sebesar ini telah membatasi aplikasinya untuk sistem sensor yang portabel.

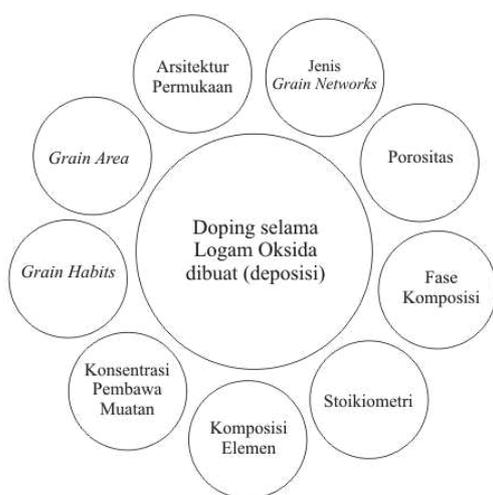
Dengan teknologi thin film, sensor dibuat menggunakan substrat silikon, dan lapisan-lapisan pembentuknya ditumbuhkan menggunakan proses seperti *sputtering*, evaporasi, atau *chemical vapor deposition* (CVD). Untuk mengurangi konsumsi daya supaya lebih efisien, substrat silikonnya bisa di etsa hingga membentuk membran tipis menggunakan teknologi MEMs. Konsumsi daya dari sensor gas SMO dengan teknologi ini berkisar antara 30 – 50 mW⁽¹⁰⁾. Untuk mendeteksi gas CO, lapisan sensitif yang digunakan dalam sensor SMO biasanya timah oksida (SnO₂)⁽¹¹⁾.

Peran Nanomaterial dalam Meningkatkan Kinerja Sensor Gas Semikonduktor

Partikel dengan ukuran nanometer memiliki sifat-sifat mekanik, optik, magnetik, dan listrik yang menarik untuk dieksplorasi penggunaannya. Biasanya, partikel nano dikatakan memiliki dimensi dibawah 100 nm, walaupun belum ada definisi yang secara universal telah disepakati. Sifat-sifat fisik dari partikel nano bisa berubah dengan perubahan dimensinya. Diantara sifat-sifat yang palig penting dari nanomaterial adalah dimensi partikel, luas permukaan (*surface area*), dan struktur atomik. Karena dimensinya yang kecil (20 kali lebih kecil dari panjang gelombang cahaya tampak), partikel nano tidak menyebabkan *light-scattering*, sehingga sangat potensial digunakan sebagai *optical coating*. *Surface area* yang besar membuat nanomaterial lebih prospektif digunakan sebagai sensor yang melibatkan reaksi kimia. Sementara quantum effect yang dimiliki oleh partikel nano memberikan banyak inovasi dalam bidang telekomunikasi dan *data storage*.

Penggunaan Bahan Aditif

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan bahan aditif, terutama dari bahan logam mulia seperti Pt, Pd Au dan Ag, dapat meningkatkan sensitivitas nanomaterial metal oksida terhadap gas-gas tertentu. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2, unsur-unsur aditif ini dapat merubah sifat-sifat dari nanomaterial metal oksida, seperti porositas, stoikiometri, komposisi fase, komposisi elemen, konsentrasi pembawa muatan bebas, ukuran partikel, dan arsitektur permukaan.



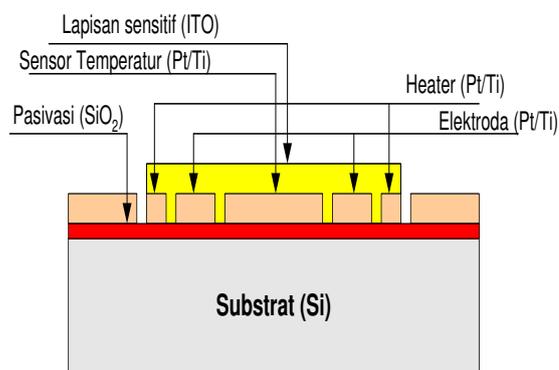
Gambar 2. Parameter yang dapat berubah karena penambahan aditif pada saat pembentukan nanomaterial logam oksida ⁽¹²⁾

Oleh karena itu, selain meningkatkan sensitivitas, penambahan aditif juga dapat meningkatkan selektivitas dan, serta menurunkan temperatur kerja sensor. Aditif biasanya berupa doping yang dicampurkan dengan material dasar pada saat proses pembentukannya, dengan komposisi kurang dari 5 wt. %⁽¹²⁾.

PERANCANGAN DIVAIS SENSOR GAS CO

Struktur divais sensor gas CO diatas substrat 5 x 5 mm² dengan daerah aktif 3 x 3 mm², dengan disipasi daya dalam bentuk perpindahan panas dari daerah aktif ke

substrat dan udara sekitarnya melalui mekanisme konveksi dan konduksi panas.



Gambar 3. Penampang divais sensor gas CO diatas substrat silikon dengan lapisan sensitif ITO⁽¹³⁾

Pemilihan jenis material

Seperti ditunjukkan dalam Gambar-3, divais sensor gas yang dirancang memiliki komponen utama sebagai berikut:

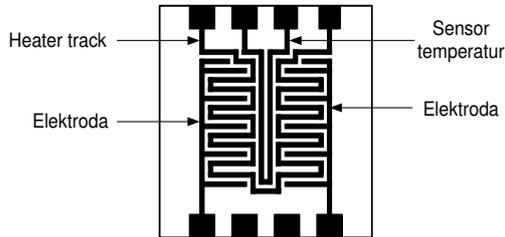
- a. Substrat dari bahan silikon,
- b. Lapisan SiO₂ sebagai pasivasi,
- c. Heater dari bahan platina (Pt) yang berfungsi untuk menghasilkan panas,
- d. Elektroda dari bahan platina (Pt) yang berfungsi untuk mengukur perubahan resistansi dari lapisan metal oksida,
- e. Sensor temperatur dari bahan platina (Pt),
- f. Lapisan sensitif dari bahan ITO, dan
- g. Bonding pad dari bahan platina (Pt).

Silikon kristal tunggal (Si) dipilih sebagai bahan substrat karena jenis bahan ini memiliki keunggulan sifat mekanik maupun elektris bila dibandingkan dengan bahan semikonduktor lainnya. Sementara platina (Pt) memiliki nilai TCR (*Thermal coefficient of resistance*) yang bagus, sehingga banyak digunakan sebagai bahan heater atau sensor temperatur.

Pembuatan layout divais sensor

Layout divais sensor gas telah dibuat dengan bentuk seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Komponen heater, elektroda, dan sensor temperatur dibuat dalam daerah

aktif sensor (3 x 3 mm) dengan lebar jalur dan jarak antar jalur 100 mikron dan 50 mikron.

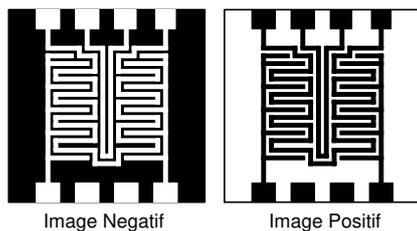


Gambar 4. Layout divais sensor gas dengan komponen heater, elektroda, dan sensor temperatur pada daerah aktif^[14]

Pembuatan masker

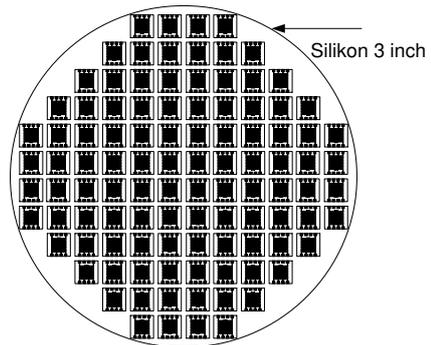
Setelah perancangan layout divais sensor selesai dilakukan, maka pola yang dibuat harus dipindahkan diatas media sebagai masker sebelum akhirnya dibentuk diatas permukaan substrat silikon (Si). Tahapan yang dilakukan dalam pembuatan masker adalah:

- Perancangan layout menggunakan *Computer Aided Design (CAD)*,
- Pembuatan *image* negatif dan positif hasil dari perancangan layout divais sensor (Gambar 5).

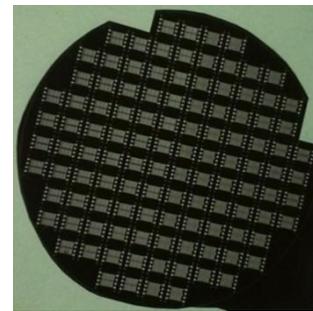


Gambar 5. Layout divais sensor dalam bentuk image negatif dan positif⁽¹⁴⁾

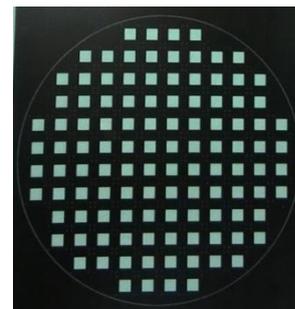
Karena ukuran substrat silikon yang digunakan adalah 3 inchi, maka masker yang dibuat telah disesuaikan dengan ukuran substratnya. Karena ukuran divais sensor yang dibuat adalah 5 x 5 mm, maka dengan jarak antar divais 1 mm akan terbentuk 104 divais dalam satu wafer.



Gambar 6. Pola masker divais sensor diatas substrat 3 inchi yang berisi 104 chip dengan ukuran 5 x 5 mm²



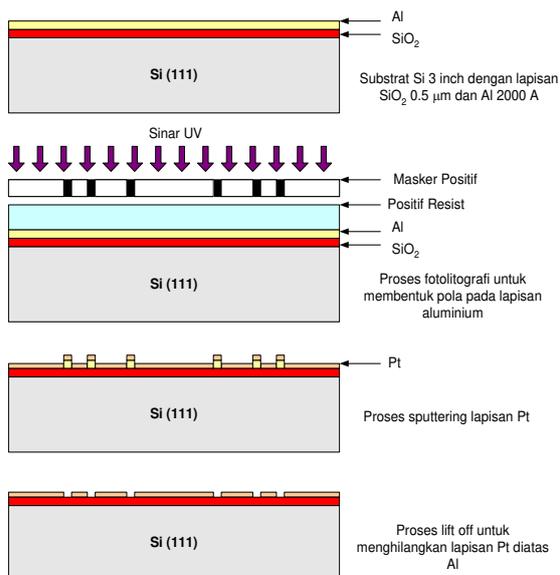
Gambar 7. Masker positif berisi pola heater, elektroda, dan sensor temperatur. Dibuat diatas media *transparency* dengan lebar jalur dan jarak antar jalur minimal 100 mikron



Gambar 8. Masker positif berisi pola lapisan sensitif. Dibuat diatas media *transparency* dengan luas 3 x 3 mm²

PEMBUATAN DIVAIS

Pada tahap selanjutnya kegiatan akan difokuskan pada proses fabrikasi divais sensor, dengan langkah-langkah sebagai berikut (Gambar 9):



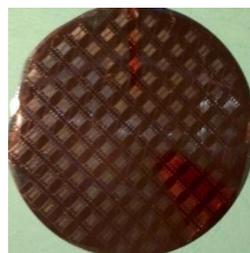
Gambar 9. Tahapan proses pembuatan divais sensor gas menggunakan teknik *lift off* (jumlah kapasitas yang dihasilkan dapat dilihat dalam bab Hasil dan Pembahasan)

- a. Penyiapan bahan silikon sebagai substrat, tipe p, diameter 3 inchi, ketebalan 380 mikron, dan orientasi (111).
- b. Proses oksidasi untuk membentuk lapisan SiO₂ dengan ketebalan 0.5 mikron.
- c. Proses pelapisan aluminium (Al) menggunakan teknik evaporasi dengan ketebalan 2000 Angstrom.
- d. Proses fotolitografi menggunakan positif resist untuk membentuk pola diatas lapisan aluminium.
- e. Etsa (pelarutan) lapisan aluminium yang telah terpola.
- f. Pelapisan platina (Pt) menggunakan proses *sputtering*.
- g. Proses *lift off* atau penghilangan lapisan platina diatas resist dan aluminium.
- h. Proses fotolitografi menggunakan resist positif untuk membentuk pola daerah sensitif dari sensor gas.
- i. Proses pelapisan ITO melalui *Sputtering*.
- j. Proses *lift off* lapisan ITO.
- k. *Cutting* dan penempelan divais diatas alumina untuk dikarakterisasi.

1. Proses wire bonding menggunakan *gold wire*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

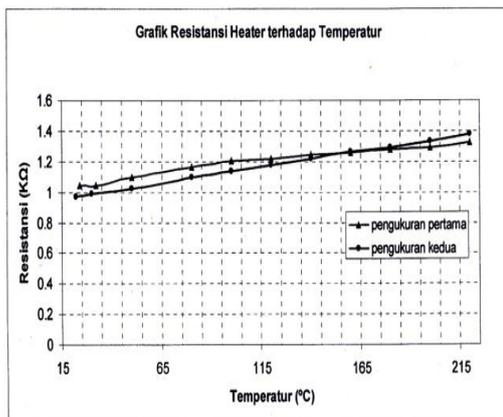
Proses pembuatan mikrodivais ditujukan untuk menghasilkan chip yang fungsional semaksimal mungkin dalam satu *wafer* silikon. Walaupun dengan ukuran chip 5x5 mm², dalam satu *wafer* dengan diameter 3 inchi dapat memuat maksimal 104 chip, akan tetapi rata-rata dari keseluruhan *wafer* silikon yang diproses, prosentase chip yang fungsional hanya sekitar 30 buah (kurang dari 30 %). Penyebab utama dari rendahnya prosentase ini adalah terjadinya pengotoran pada *wafer* silikon mulai tahap penyiapan, proses dengan kondisi lingkungan di laboratorium yang kurang bersih, serta penanganan (*handling*). Idealnya, untuk melakukan pembuatan divais seperti ini, dibutuhkan ruangan yang bersih dengan *standard cleanroom* kelas 1000 dan memiliki prosedur kerja standard yang telah dibakukan. Dalam Gambar-10 dapat dilihat beberapa *chip* mikrodivais sensor yang telah selesai diproses. Dibandingkan dengan hasil penelitian dari peneliti terdahulu yaitu ukuran dimensi lebih besar 2x karena keterbatasan laboratorium kami (PPET-LIPI) yaitu demensi dari masker untuk lebar jalur dan jarak antar jalur minimal 100 mikron pada penelitian ini, sedang peneliti terdahulu bisa mencapai 50 mikron⁽¹⁴⁾.



Gambar 10. Silikon hasil proses fotolitografi dengan berisi pola *heater*, elektroda, dan sensor temperatur

Karakterisasi mikrodivais yang dilakukan ditujukan untuk mengetahui *resistance versus temperature characteristics* dari *platform* mikrodivais sensor. Hal ini perlu agar temperatur kerja dari sensor bias diketahui dengan pasti. Untuk itu, proses karakterisasi telah dilakukan menggunakan *hotplate*, dimana chip dipanaskan diatas *hotplate* dengan rentang temperatur antara 25 – 200 °C, dan pengukuran dilakukan dengan mencatat nilai resistansi dari sensor temperatur dan *heater* untuk tiap kenaikan 25 °C. Perubahan nilai resistansi pada kedua *track* tersebut diukur menggunakan *probe thermocouple*.

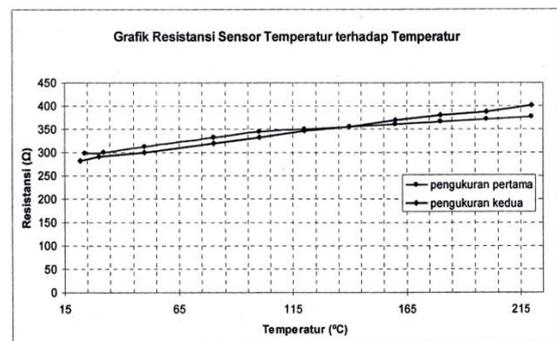
Dalam Gambar 11 dapat dilihat hasil pengukuran untuk sensor dengan dua pasang elektroda diukur pada *track* temperatur sensor dan *heater*.



Gambar 11. Grafik resistansi heater terhadap temperatur pada sensor dengan 2 pasang elektroda

Pengukuran dilakukan dua kali. Pada awalnya *chip* diukur hubungan antara resistansi dan temperaturnya hingga mencapai temperatur 220 °C. Setelah *chip* dingin kembali, selanjutnya dilakukan pengukuran yang sama. Hasil pengukuran resistansi terhadap temperatur untuk sensor dengan dua pasang elektroda menunjukkan bahwa hasil pengukuran pertama dan kedua tidak terdapat perbedaan yang signifikan, baik untuk temperatur sensor maupun untuk *heater* dapat dilihat seperti pada Gambar 11.

Hal yang berbeda untuk *chip* dengan satu pasang elektroda. Dari dua kali pengukuran, menunjukkan hasil yang berbeda dan tidak terlihat adanya keteraturan. Melalui pengamatan mikroskop, ditemukan beberapa lapisan platina dalam keadaan rusak. Penyebab kerusakan ini diprediksi akibat pengaruh panas terhadap *chip*. Guna membuktikan hal tersebut, maka satu *chip* dipanaskan tanpa dilakukan pengukuran untuk menghindari kerusakan akibat kontak platina dengan *probe*. Untuk pemanasan antara 115 -165 °C diamati dan dihasilkan resistansi yang cukup baik dan *smooth*.



Gambar 12. Grafik resistansi sensor temperatur terhadap temperatur pada sensor dengan 2 pasang elektroda

Setelah pemanasan, permukaan *chip* tidak mengalami perubahan atau rusak dan setelah diukur hubungan resistansi terhadap temperatur, diperoleh grafik dengan tren seperti grafik resistansi terhadap temperatur untuk *chip* dengan dua elektroda diatas. Gambar 12 adalah grafik hubungan resistansi *track sensor* temperatur dengan perubahan temperatur. Dan disesuaikan dengan aplikasinya bila sudah dalam taraf pembuatan. Dengan membuat masker positif yang berisi pola *heater*, elektroda dan sensor temperatur yang dibuat diatas *media transparency* dengan lebar jalur dan jarak antar jalur dibawah 100 mikron agar didapatkan devais sensor gas CO lebih miniatur sehingga didapatkan jumlah mikro *Chip* (mikrodivais) lebih banyak lagi⁽¹⁴⁾.

Dibandingkan dengan literatur⁽⁷⁾ yaitu proses pembuatan divais sensor gas NO₂ dengan lapisan aktif / sensitif In₂O₃ menggunakan Teknologi Lapisan Tebal dengan metode *screen printing*, dengan substrat alumina (Al₂O₃) lebar jalur diatas 100 mikron, sedang dengan proses menggunakan Teknologi Lapisan Tipis dengan metode deposisi (*Sputtering* atau evaporasi) dengan substrat silikon (Si) lebar jalur bisa di bawah 100 mikron sehingga didapatkan ukuran lebih kecil atau didapatkan miniaturisasi dari ukuran mikrodivais maka dihasilkan mikrodivais lebih banyak sehingga lebih efisien. Dengan membandingkan dimensi devais sensor gas NO₂ dengan teknologi lapisan tebal dengan ukuran: $\leq 10 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$, sedang dalam penelitian ini dengan teknologi film tipis dengan demensi $5 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ sehingga terjadi miniaturisasi sebesar 10x atau 0,10 lebih kecil ukuran mikrodivaisnya bila dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Teknologi Lapisan Tebal)⁽⁷⁾.

Dibandingkan dengan literatur⁽⁶⁾ yaitu proses ini aplikasi dari Sintesis (pembuatan) Nano Material dari Indium Timah Oksida (ITO) sebagai lapisan Aktif / Sensitifnya Mikrodivais Gas CO.

KESIMPULAN

Dalam tulisan ini telah dijelaskan tahapan proses perancangan dan pembuatan mikrodivais diatas silikon yang akan digunakan untuk mendeteksi gas CO. Divais yang dibuat telah dirancang dengandaerah aktif berukuran $3 \times 3 \text{ mm}^2$, dan terdiri dari bonding pad, komponen heater, elektroda, dan sensor temperatur. Fitur size minimum adalah 50 mikron. Semua komponen tersebut dibuat menggunakan proses lift-off lapisan platina (Pt), yang dilapiskan dengan metode DC sputtering dengan lapisan alumunium (Al) sebagai *sacrificial layer*. Dimensi keseluruhan dari chip yang dihasilkan tidak

lebih dari $5 \times 5 \text{ mm}^2$. Karakterisasi yang dilakukan terhadap platform mikrodivais menunjukkan bahwa elemen *heater* dan sensor temperatur telah berfungsi seperti yang diharapkan, yaitu nilai resistansinya berubah secara linear dengan kenaikan temperatur substrat. Rentang kenaikan nilai resistansi untuk *heater* adalah antara 1000 – 1400 Ohm, sedangkan untuk sensor temperatur antara 200 – 300 Ohm, masing-masing untuk temperatur antara 20 – 200 °C.

Penelitian pembuatan mikro divais gas CO ini menggunakan teknologi lapisan tipis lebih efisien jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu dengan teknologi lapisan tebal dimensinya bisa 10x lebih kecil sehingga dengan ukuran substrat yang sama bisa dihasilkan 10x mikrodivais lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

1. P. G. Su, R.J. Wu and F.P. Nieh. Detection of nitrogen dioxide using mixed tungsten oxide conductor sensor. *Talanta* 59 (4): 667 - 672 (2003).
2. W.Y. Chung and S.-C. Lee, *J. Korean Phys. Soc.* 49, 1087 (2006).
3. T. Seiyama, A. Kato, K. Fujushi, and M. Nagatani, 'A new detector for gaseous components using semiconductive thin films'. *Analytical Chemistry*, vol. 34, p. 1502f (1962)
4. N.Taguchi, Japanese Patent 47-38840 (1970)
5. S. Widodo. Teknologi Sol Gel Pada Pembuatan Nano Kristalin Metal Oksida Untuk Aplikasi Sensor Gas. Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, Jurusan Teknik Kimia Universitas Diponegoro (UNDIP) Semarang, 2010.
6. S. Widodo. Proses Sintesis Indium Tin Oksida (ITO) Nano Partikel Dengan Metode Sol Gel Sebagai Lapisan Aktif

- Pada Sensor Gas CO. Prosiding Seminar Nasional Fisika Terapan III 2012 (SNAFT'2012), Dep. Fisika-Fak. Sains dan Teknologi UNAIR, Surabaya, 2012.
7. S. Widodo. Teknologi Proses Pembuatan Divais Sensor Gas NO₂ Dengan Lapisan Aktif In₂O₃ (Process Technology Of Fabrication NO₂ Gas Sensor Devices With Active Layer In₂O₃). *ALCHEMY jurnal penelitian kimia*, vol. 10, no. 1, hal. 69-86 (2014)
8. N. Barsan, and U. Weimar. Conduction Model of Metal Oxide Gas Sensors. *Journal of Electroceramics*, vol.7, pp. 143-167 (2001)
9. G. Williams, and G.S.V. Coles. Micropowered Gas Sensors Using Thick and Thin Films of Semiconducting Oxides, Sensors and Their Applications VIII, IOP Publishing, 1977, pp. 219-224.
10. M. Graf, D. Barretino, H.P. Baltes, and A. Hierlemann. CMOS Hotplate Chemical *Microsensors*, Springer (2007)
11. N. Barsan, J.R. Setter, M. Findlay, Jr., and W. Gopel, 'High-performance gas sensing or CO: comparative tests for semiconducting (SnO₂), *Sensors and Actuators B* vol.66 no. 1, pp. 31 – 33 (2000)
12. Korotcenkov. Gas Response Control Through Structural and Chemical Modification of Metal Oxide Films: State of the Art and Approaches. *Sensors and Actuators B*, vol 107, pp. 209-232 (2005)
13. T. Zhang, L. Liu, Q. Qi, S. Li, and G. Lu. Development of micro structure In/Pd-doped SnO₂ sensor for low-level CO detection. *Sensors and Actuators B*, vol 139, pp. 287-291 (2009)
14. S. D. Kim, B.J. Kim, J.H. Yoon, and J.S. Kim. Design, Fabrication and Characterization of a Low-Power Gas Sensor with High Sensitivity to CO gas. *Journal of the Korean Physical Society*, Vol. 51, No.6, pp. 2069-2076 (2007)

