

PROSES *LIFT OFF* PADA PEMBUATAN DIVAIS SENSOR GAS CARBON MONOKSIDA (CO)

(*LIFT OFF PROCESS ON FABRICATION OF CARBON MONOXIDE (CO) GAS SENSOR DEVICES*)

Slamet Widodo*, Goib Wiranto

PPET-LIPI, Jl. Sangkuriang Komp. LIPI Bandung 40135, No.Telp/Fax:022-2504660/022-2504659.

*email: slametwidodo50@gmail.com

Recieved 05 November 2013, Accepted 14 February 2014, Published 01 September 2014

ABSTRAK

Tulisan ini menjelaskan tahapan proses pembuatan mikrodivais yang akan digunakan sebagai *platform* sensor gas CO (karbon monoksida) berbasis timah oksida (SnO₂). Divais yang dibuat telah dirancang diatas substrat silikon dengan daerah aktif berukuran 3x3 mm², dan terdiri dari *bonding pad*, komponen pemanas (*heater*), elektroda, dan sensor temperatur. Lebar jalur minimum adalah 50 mikron, sesuai dengan kemampuan proses fotolitografi yang digunakan. Pembentukan struktur mikrodivais dilakukan terutama dengan menggunakan teknik *lift-off* lapisan platina (Pt) yang dilapiskan menggunakan metode DC sputtering dengan lapisan alumunium (Al) sebagai *sacrificial layer*. Dimensi chip mikrodivais yang dihasilkan berukuran 5 x 5 mm². Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui karakteristik resistansiterhadap suhu dari mikrodivais menunjukkan bahwa elemen pemanas (*heater*) dan sensor suhutehlah berfungsi seperti yang diharapkan, yaitu nilai resistansinya berubah secara linear dengan kenaikan suhu substrat antara 20 – 200 °C. Rentang kenaikan nilai resistansi untuk pemanas (*heater*) adalah antara 500 – 1000 ohm, sedangkan untuk sensor suhu antara 100 – 300 ohm.

Kata kunci: gas CO, mikrodivais, proses lift-off, sensor gas, SnO₂

ABSTRACT

This paper discuss the design and fabrication of microdevice to be used as platform for CO (Carbon monoxide) gas sensor based on tin dioxide (SnO₂). The device has been designed on silicon substrate with an active area of 3x3 mm², and it is consist 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 was carried out by lift-off technique on platinum (Pt) layer, which was deposited by DC sputtering with aluminum (Al) as sacrificial layer. The overall chip dimension is 5x5 mm². The measurement that was conducted to study the characteristic of resistance asfunction of temperature has shown that the heater and temperature sensor elements could work as expected, in which their resistances change linearly as the temperature of the substrate increase by 20 – 200 °C. The resistance values of the heater increase 500 – 1000 ohm. Meanwhile, the resistance increasing for temperatur sensor is between 100 – 300 ohm.

Keywords: CO gas, gas sensor, lift-off process, microdevices, SnO₂

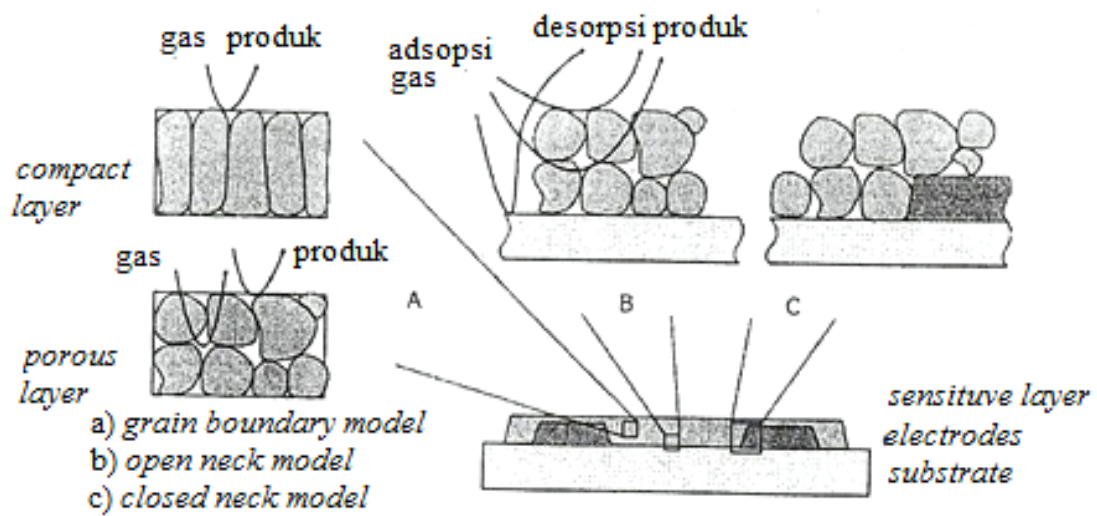
PENDAHULUAN

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 (Barsan and Weimar, 2001).

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 *semiconductor metal oxide* (SMO) pertama kali dipelajari tahun 1960 an oleh Seiyama (Seiyama, 1962). Akan tetapi, baru tahun 1970 Taguchi (Japanese Patent 47-38840) berhasil membuat sensor gas SMO secara komersial. Awalnya, sensor Taguchi terbuat dari koil emas sebagai pemanas dan elektroda, dan *tin oxide* (SnO_2) sebagai lapisan sensitif terhadap gas. 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. Proses pertama adalah terjadinya interaksi antar permukaan logam 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 logam oksida. Proses yang kedua adalah proses perubahan sifat listrik (konduktivitas) dari dari lapisan logam oksida akibat dari reaksi kimia tersebut. Proses ini mula-mula hanya terjadi di daerah permukaan butiran partikel lapisan logam oksida. Proses yang ketiga adalah terjadinya akses oleh partikel logam oksida bagian dalam terhadap gas target. Terjadinya reaksi antara gas dengan permukaan logam oksida dapat dianggap sebagai sebuah proses difusi ke arah substrat dari sensor SMO.

Gas-gas yang bersifat reduksi seperti CO, molekul-molekul CO berreaksi 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 (Barsan and Weimar, 2001).

Untuk lapisan logam 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 (Barsan and Weimar, 2001).

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

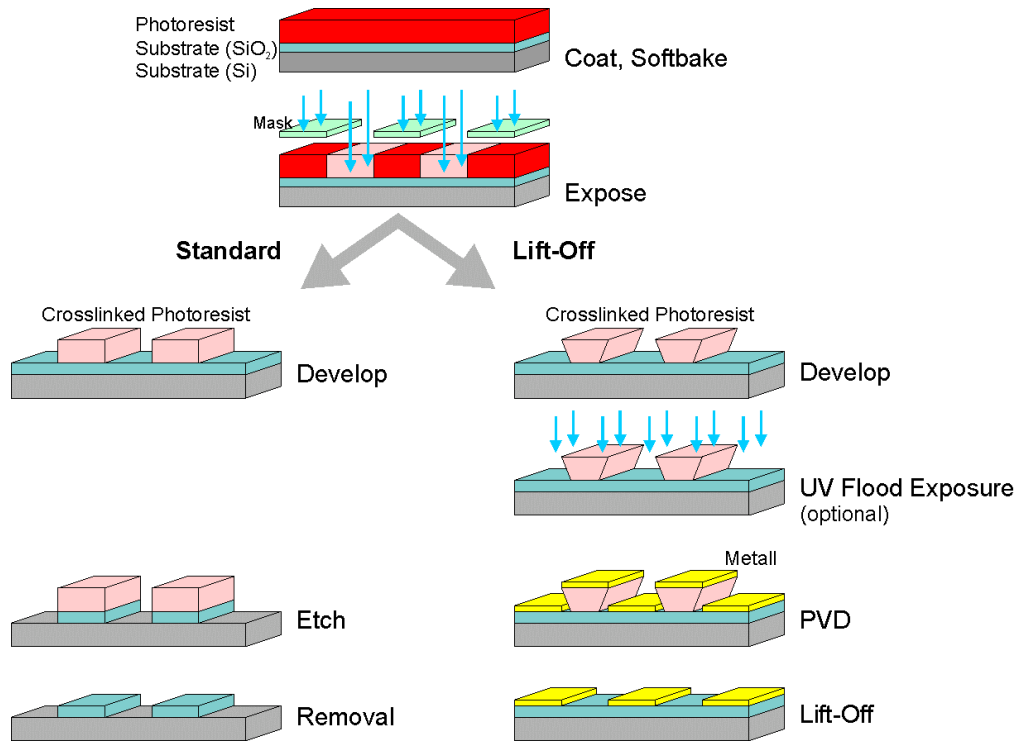
$$\sigma = k C^n \quad (4)$$

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.

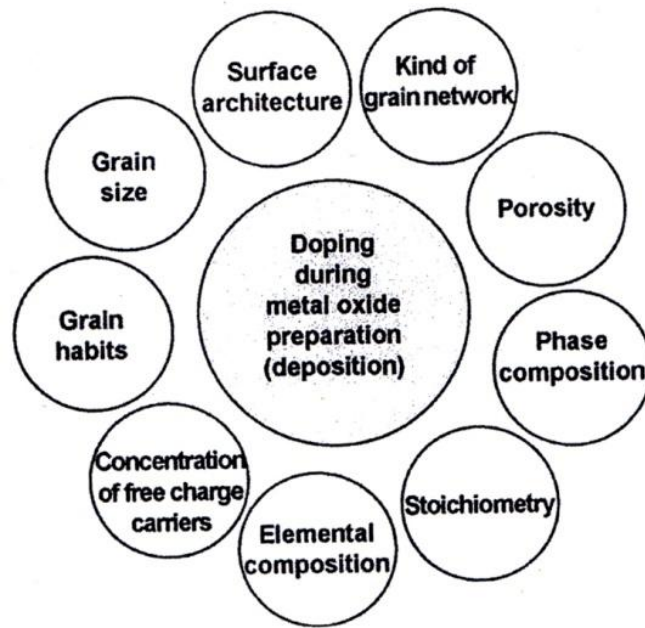
Kemajuan di bidang teknologi fabrikasi divais, sensor gas SMO memungkinkan dibuat diatas substrat keramik (teknologi *thick film*) atau silikon (teknologi *thin film*). Dalam teknologi *thick film*, digunakan substrat seperti alumina (Al_2O_3), dan kemudian lapisan seperti elektroda, *heater*, dan logam 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 – 1W (Williams, and Coles, 1977). Konsumsi daya sebesar ini telah membatasi aplikasinya untuk sistem sensor yang portabel.

Teknologi *thin film* dalam sensor dibuat menggunakan substrat silikon, dan lapisan-lapisan pembentuknya ditumbuhkan menggunakan proses seperti sputtering, evaporasi, atau *chemical vapor deposition* (CVD). Konsumsi daya dapat dikurangi dengan substrat silikon (Si) yang di etsa hingga membentuk membran tipis menggunakan teknologi *Micro Electro Mechanical Systems* (MEMS). Konsumsi daya dari sensor gas SMO dengan teknologi ini berkisar antara 30 – 50 mW (Korotcenkov, 2005). Mendeteksi gas CO, lapisan sensitif yang digunakan dalam sensor SMO biasanya *tin oxide* (SnO_2) (Rodriguez, and Garcia, 2007). Pembuatan sensor gas semikonduktor ini dengan teknik proses *Lift Off* seperti tahapan proses seperti tercantum dalam Gambar 2.



Gambar 2. Contoh tahapan-tahapan proses *Lift-Off*.

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. 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*. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penambahan bahan aditif, terutama dari bahan logam mulia seperti Pt, Pd Au dan Ag, dapat meningkatkan sensitivitas nanomaterial logam oksida terhadap gas-gas tertentu. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 3, unsur-unsur aditif ini dapat merubah sifat-sifat dari nanomaterial logam oksida, seperti porositas, stoikiometri, komposisi fase, komposisi elemen, konsentrasi pembawa muatan bebas, ukuran partikel, dan arsitektur permukaan.

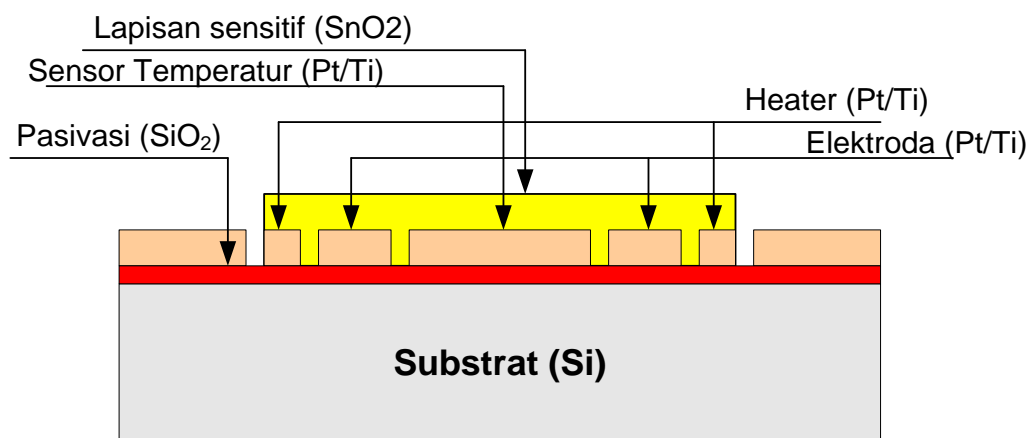


Gambar 3. Parameter yang dapat berubah karena penambahan aditif pada saat pembentukan nanomaterial logam oksida (Barsan *et al.*, 2008).

Oleh karena itu, selain meningkatkan sensitivitas, penambahan aditif juga dapat meningkatkan selektivitas dan *response-time*, serta menurunkan temperatur kerja sensor. Aditif biasanya berupa *doping* yang dicampurkan dengan material dasar pada saat proses pembentukannya, dengan komposisi kurang dari 5 % wt.(Barsan *et al.* , 2008).

METODE PENELITIAN

Struktur divais sensor gas CO pada Gambar 4 substrat $5 \times 5 \text{ mm}^2$ dengan daerah aktif $3 \times 3 \text{ mm}^2$, dengan disipasi daya dalam bentuk perpindahan panas dari daerah aktif ke substrat dan udara sekitarnya melalui mekanisme konveksi dan konduksi panas.



Gambar 4. Penampang divais sensor gas CO diatas substrat silikon dengan lapisan sensitif SnO₂.

Pemilihan jenis material

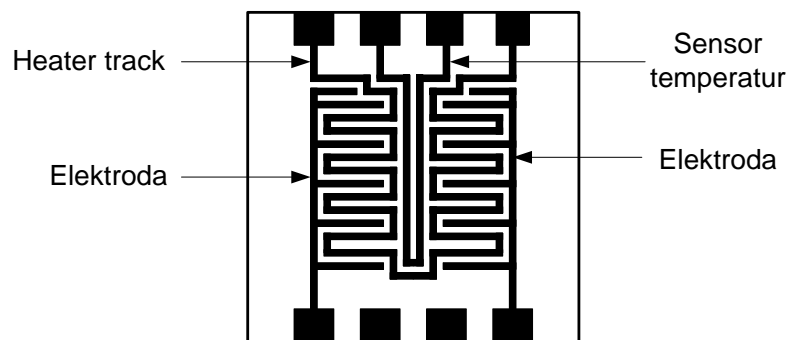
Seperti ditunjukkan dalam Gambar 4, divais sensor gas yang dirancang memiliki komponen utama sebagai berikut:

1. Substrat dari bahan silikon,
2. Lapisan SiO_2 sebagai pasivasi,
3. Heater dari bahan platina (Pt) yang berfungsi untuk menghasilkan panas,
4. Elektroda dari bahan platina (Pt) yang berfungsi untuk mengukur perubahan resistansi dari lapisan logam oksida (SnO_2),
5. Sensor temperatur dari bahan platina (Pt),
6. Lapisan sensitif dari bahan SnO_2 , dan
7. Bonding pad dari bahan platina (Pt)

Silikon kristal tunggal (Si) dipilih sebagai bahan substrat karena jenis bahan ini memiliki keunggulan sifat mekanik maupun elektrik bila dibandingkan dengan bahan semikonduktor lainnya. Sementara platina (Pt) memiliki nilai *Thermal Coefficient of Resistance* (TCR) 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 5. Komponen pemanas (*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.



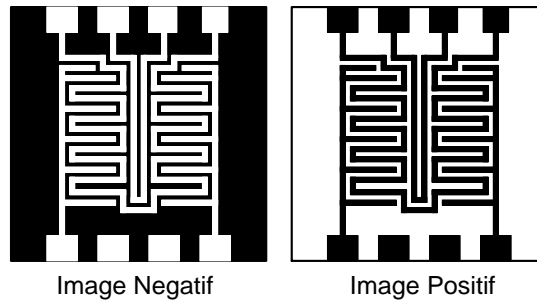
Gambar 5. *Layout* divais sensor gas dengan komponen pemanas (*heater*), elektroda, dan sensor temperatur pada daerah aktif.

Pembuatan masker

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

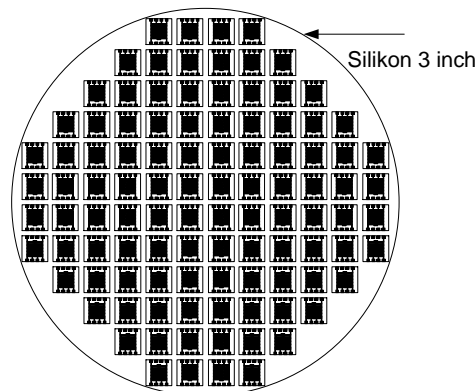
- a. Perancangan *layout* menggunakan *Computer Aided Design* (CAD),

b. Pembuatan image negatif dan positif hasil dari perancangan *layout* divais sensor (Gambar 6).

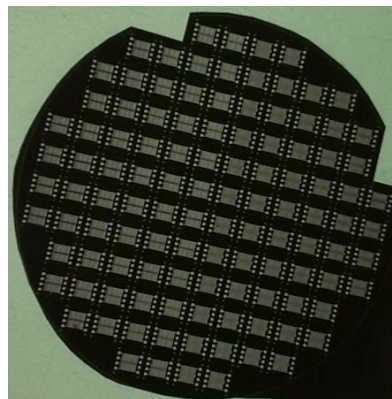


Gambar 6. *Layout* divais sensor dalam bentuk image negatif dan positif.

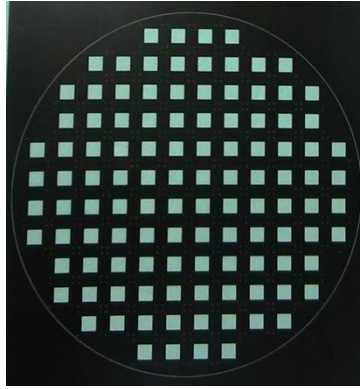
Karena ukuran substrat silikon yang digunakan adalah 3 inch, maka masker yang dibuat telah disesuaikan dengan ukuran substratnya. Karena ukuran divais sensor yang dibuat adalah 5 x 5 mm, maka dengan jarak antar divais 1 mm akan terbentuk 104 divais dalam satu wafer.



Gambar 7. Pola masker divais sensor diatas substrat 3 inch yang berisi 104 chip dengan ukuran 5 x 5 mm.



Gambar 8. Masker positif berisi pola pemanas (*heater*), elektroda, dan sensor temperatur. Dibuat diatas media transparan dengan lebar jalur dan jarak antar jalur minimal 100 mikron.

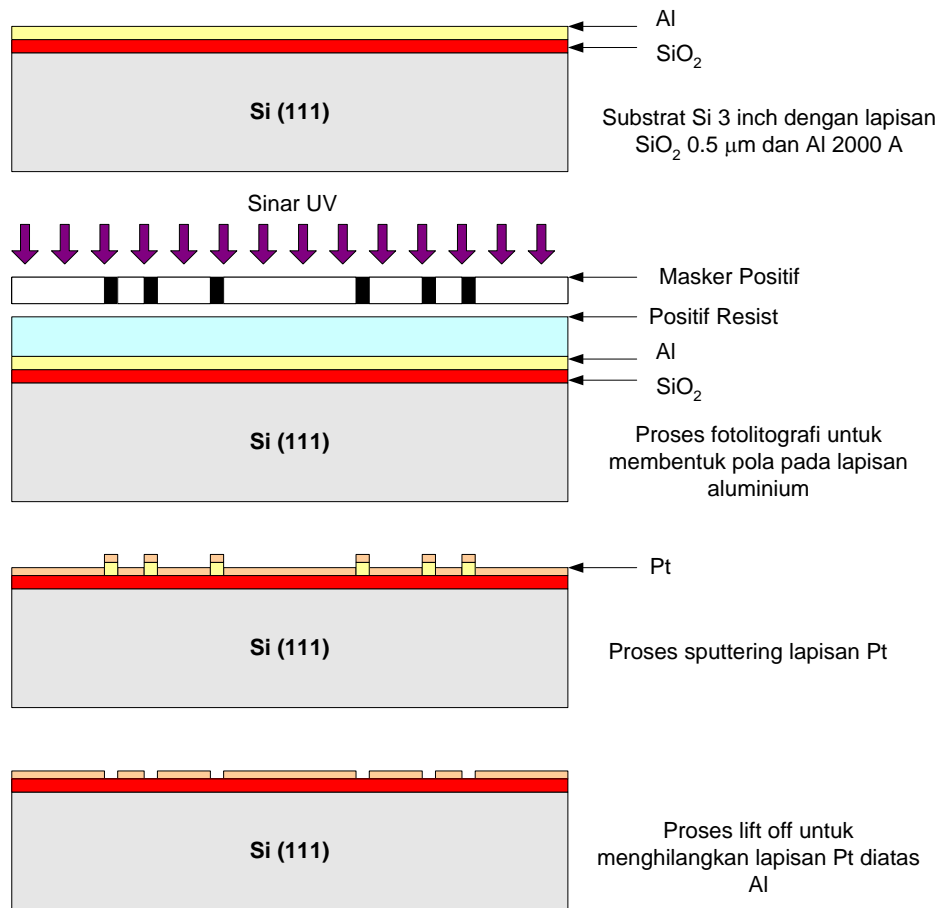


Gambar 9. Masker positif berisi pola lapisan sensitif dan dibuat diatas media transparan dengan luas $3 \times 3 \text{ mm}^2$.

FABRIKASI DIVAIS

Pada tahap selanjutnya kegiatan akan difokuskan pada proses fabrikasi divais sensor, dengan langkah-langkah sebagai berikut (Gambar 10).

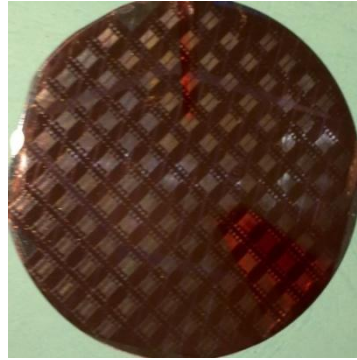
- a. Penyiapan bahan silikon sebagai substrat, tipe p, diameter 3 *inch*, ketebalan 380 mikron, dan orientasi (111).
- b. Proses oksidasi untuk membentuk lapisan SiO_2 dengan ketebalan 0,5 mikron.
- c. Proses pelapisan aluminium (Al) menggunakan teknik evaporasi dengan ketebalan 2000 Angstrom (\AA).
- 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 Timah Oksida (SnO_2) melalui Sputtering.
- j. Proses *lift off* lapisan SnO_2 .
- k. *Cutting* dan penempelan divais diatas alumina untuk dikarakterisasi.
- l. Proses *wire bonding* menggunakan *gold wire*.



Gambar 10. Tahapan proses fabrikasi pembuatan divais sensor gas menggunakan teknik *lift off*.

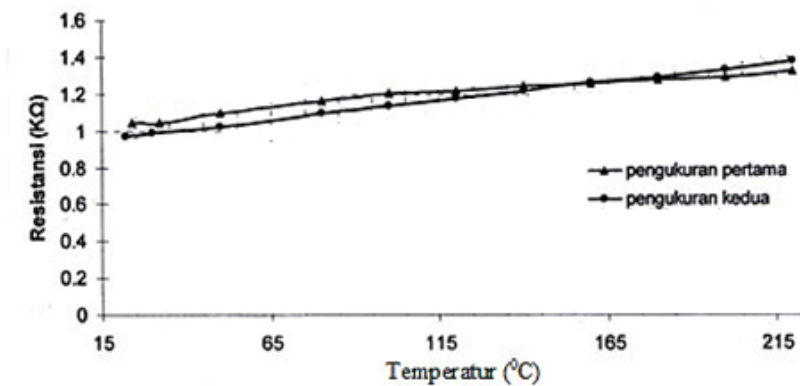
PEMBAHASAN

Proses fabrikasi 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 *inch* 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 fabrikasi divais seperti ini, dibutuhkan ruangan yang bersih dengan *standard cleanroom* kelas 1000 dan memiliki prosedur kerja standard yang telah dibakukan. Dalam Gambar 11 dapat dilihat beberapa *chip* mikrodivais sensor yang telah selesai diproses.



Gambar 11. Silikon hasil proses fotolitografi dengan berisi pola pemanas (*heater*), elektroda, dan sensor temperatur.

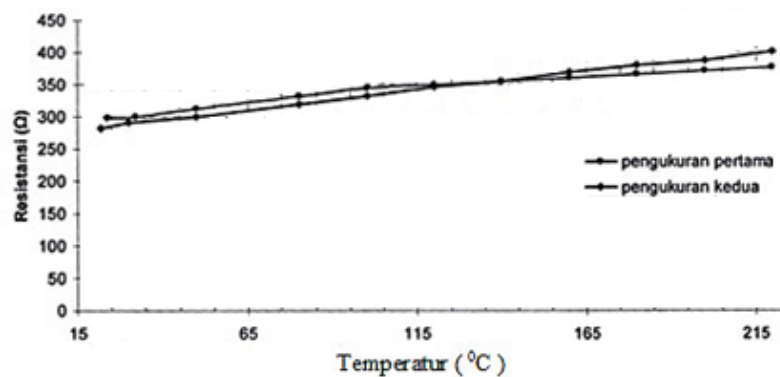
Karakterisasi mikrodivais yang dilakukan ditujukan untuk mengetahui resistansi terhadap temperatur dari *platform* mikrodivais sensor. Hal ini perlu agar temperatur kerja dari sensor bias diketahui dengan pasti. Untuk itu, proses karakterisasi telah dilakukan menggunakan *hotplate*, dimana *chip* dipanaskan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



Gambar 12. Grafik resistansi pemanas (*heater*) terhadap temperatur pada sensor dengan 2 pasang elektroda.

Dalam Gambar 12 dapat dilihat hasil pengukuran untuk sensor dengan dua pasang elektroda diukur pada *track temperature sensor* dan *heater*. 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 12.

Hal yang berbeda untuk chip dengan satu pasang elektroda. Pengukuran dua kali 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 kerusakann akibat kontak platina dengan *probe*. 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. Berikut ini adalah grafik hubungan resistansi track sensor temperatur dengan perubahan temperatur pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik resistansi sensor temperatur terhadap temperatur pada sensor dengan 2 pasang elektroda elektroda.

KESIMPULAN

Karakterisasi yang dilakukan terhadap *platform* mikrodivais menunjukkan bahwa elemen pemanas (*heater*) dan sensor temperatur telah berfungsi seperti yang diharapkan, yaitu nilai resistansinyaberubah secara linear dengan kenaikan temperatur substrat. Rentang kenaikan nilai resistansi untuk pemanas (*heater*) adalah antara 1000 – 1400 ohm, sedangkan untuk sensor temperatur antara 200 – 300 ohm, masing-masing untuk temperatur antara 20 – 200 °C.

DAFTAR PUSTAKA

- Barsan, N., and Weimar, U., 2001, Conduction Model of Metal Oxide Gas Sensors, *Journal of Electroceramics*, vol.7, pp. 143-167.
- Barsan, N., Setter, J.R., Findlay, Jr. M., and Gopel, W., 1999, High-performance Gas Sensing or CO: Comparative Tests for Semiconducting (SnO₂- based) and for Amperometric Gas Sensors, *Analytical Chemistry*, vol. 71, pp. 2512-2517.

- Graf, M., Barretino, D., Baltes, H. P., and Hierlemann, A., 2007, *CMOS Hotplate Chemical Microsenso*, Springer.
- Korotcenkov, 2005, 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.
- P. G. Su, Wu, R. J., and Nieh, F. P., 2003, Detection of Nitrogen Dioxide Using Mixed Tungsten Oxide-Based Thick Film Semiconductor Sensor, *Talanta*, vol. 59, no. 4, pp. 667-672.
- Rodriguez, J. A and Garcia, M.F. (ed), 2007, *Synthesis, Properties, and Applications of Oxide Nanomaterials*, John Wiley & Sons.
- Seiyama, T., Kato, A., Fujushi, K., and Nagatani, M., 1962, A New Detector For Gaseous Components Using Semiconductive Thin Films, *Analytical Chemistry*, vol. 34, no. 11, pp. 1502-1503.
- Taguchi, N., 1972, *Japanese Patent*, 47-38840.
- Williams, G. and Coles, G. S. V., 1977, Micropowered Gas Sensors Using Thick and Thinn Films of Semiconducting Oxides, *Sensors and Their Applications VIII*, IOP Publishing, pp. 219-224.