

TEKNOLOGI PROSES FILM TEBAL DALAM PEMBUATAN DEVAIS SENSOR GAS UNTUK MENDETEKSI PENCEMARAN LINGKUNGAN

Slamet Widodo

*Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi,
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (PPET-LIPI)
Kampus LIPI Jl. Sangkuriang Bandung 40135*

* Untuk korespondensi: telp 08156110870, Email : slametwidodo50@gmail.com

ABSTRAK

Dalam tulisan ini diuraikan pembuatan Sensor gas dengan teknologi film tebal (Thick Film) menggunakan sepasang elektroda parallel yang masing-masing mempunyai semacam jari sisir periodik yang keduanya saling berhadapan dan saling bertaut yang dicetak pada keping substrat alumina (Al_2O_3) planar menggunakan teknologi screen printing. Adapun material sensornya dicetak di atasnya, juga dengan menggunakan metode screen printing. Sedangkan heater atau pemanas berupa sirkuit yang umumnya berbentuk spiral dari bahan resistor atau konduktor film tebal, biasanya dicetak tepat dibelakang di sisi yang berlawanan. Sensor gas berbasis teknologi film tebal ini memiliki komponen-komponen seperti heater, elektroda, dan lapisan sensitif (sensing layer). Parameter proses dalam teknologi film tebal juga dibahas dalam makalah ini.

Kata Kunci: *Film tebal, Screen printing, Parameter proses dan Devais sensor gas.*

ABSTRACT

In this article described making of gas sensor with thick film technology applies a couple of having each parallel electrode a kind of periodic comb finger which both is each other look out on and is each other related printed at alumina substrate chipping (Aluminium oxide) planar applies screen printing technology. As for its, the sensor material is printed to it, also by using screen printing method. While heater in the form of circuit that is generally is in the form of spiral from resistor material or conductor thick film, usually is printed precise behind in side which at the opposite. Gas sensor bases on this thick film technology has components like heater, electrode, and sensitive layer (sensing layer). Process parameter in thick film technology also is discussed in this handing out.

Key words: *Thick Film, Screen printing, process parameter and gas sensor devices*

PENDAHULUAN

Teknologi sensor saat ini sudah berkembang sangat pesat. Saat ini telah banyak ditemukan bermacam-macam sensor yang digunakan sebagai pendeteksi (*detector*) dengan berbagai karakteristik dan fungsinya masing-masing, mulai dari sensor panas, sensor suara (bunyi), sensor

gas dan lain sebagainya. Dan penggunaannya pun sudah semakin luas seperti pada mobil otomatis, mesin-mesin, pengobatan, industri, dan teknologi robot [1].

Teknologi pembuatan sensor gas ada bermacam-macam. Salah satu teknologi fabrikasi sensor gas yang sedang berkembang saat ini adalah menggunakan

teknologi film tebal (*Thick Film*). Sensor gassemikonduktor berbasis teknologi *Thick Film* pertama kali dibuat oleh seorang ahli dari Jepang yaitu Prof Taguchi sekitar tahun 1960 [2,3], dengan tujuan awal sebagai detector kebocoran LPG di rumah [4].

Pada sensor gas berbasis teknologi *Thick Film* proses pembuatannya dilakukan dengan teknik screen printing. Teknik screen printing ini dilakukan dengan menempatkan tinta (pasta) pada substrat sensor melewati screen menggunakan penekan (squeegee). Hanya bagian screen yang berlubang atau berpola saja yang mencetak (print) pasta pada substrat [5].

Dengan menggunakan teknik ini dapat dibuat sensor dalam dimensi millimeter (mm). Walaupun dimensinya cukup kecil tetapi sensor dengan teknologi film tebal membutuhkan desipasi daya yang tinggi (1 – 5 Watt).

Sensor gas berbasis teknologi Thick Film memiliki komponen-komponen seperti heater, elektroda, dan lapisan sensitif.

TEKNOLOGI FILM TEBAL (*THICK FILM*)

Teknologi Film Tebal merupakan salah satu bagian dari teknologi mikroelektronika dalam pembuatan komponen-komponen elektronika menggunakan metode *screen printing*. Teknologi ini mulai diterapkan pada pertengahan tahun 1960, bersamaan dengan berkembangnya teknologi hibrida. Perbedaan paling mendasar teknologi film tebal dengan teknologi lainnya pada metode deposisi film-nya, yaitu menggunakan teknologi *screen printing*.

Teknologi hibrida film tebal dikenal memiliki berbagai kelebihan, khususnya pada struktur fisiknya yang padat dan kokoh serta kelebihan pada biaya produksi yang relatif murah.

Teknologi film tebal telah banyak digunakan secara luas dalam industri komponen mikroelektronika hibrida dan diaplikasikan dalam berbagai bidang, seperti otomotif, telekomunikasi, medis dan pengembangan sensor dan actuator.

Material utama yang digunakan dalam teknologi film tebal adalah substrat dan pasta. Substrat merupakan media tempat menempelnya konduktor dan pasta lain (seperti halnya PCB pada teknologi biasa) melalui proses pencetakan. Proses film tebal terdiri dari beberapa tahap yang meliputi pembuatan screen, pencetakan (printing), pengeringan (drying), pembakaran (firing), trimming dan sejumlah proses tambahan lain seperti proses pemasangan kaki (lead frame) dan pengemasan (enkapsulasi) [5].

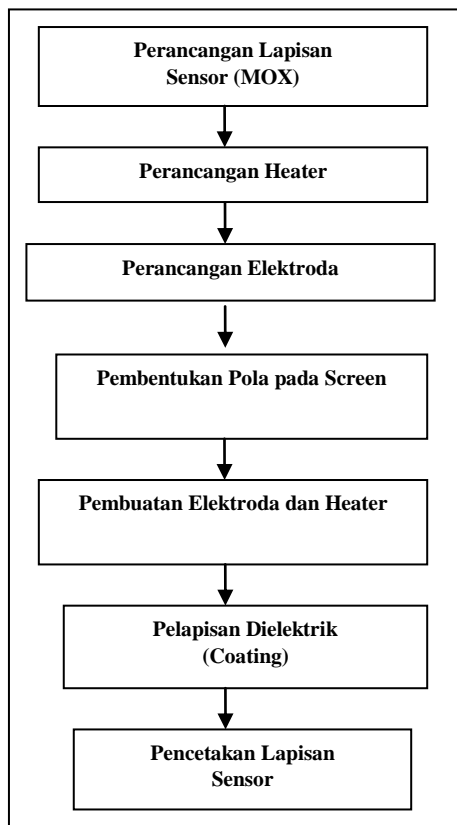
1. Konduktor Film Tebal

Seperti rangkaian elektronik pada umumnya, jalur konduktor pada teknologi film tebal mutlak harus ada. Baik digunakan sebagai jalur konduktor itu sendiri maupun sebagai pad, baik pad eksternal maupun pad internal. Pad eksternal digunakan sebagai penghubung dengan rangkaian lain atau sebagai terminal masukan atau keluaran, sedangkan pad internal digunakan sebagai pad bagi IC, resistor dan kapasitor. Bahan dari konduktor pada teknologi film tebal tergantung dari jenis

substrat dan temperature pembakaran konduktor.

1.2 Proses Dalam Teknologi Film Tebal

Secara umum, tahapan proses teknologi film tebal khususnya pembuatan sensor gas MOX [6,7,8], terdiri atas beberapa proses dengan urutan tertentu seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.1. Dari Gambar 1.1, dapat dirinci lagi menjadi tahap persiapan, pencetakan, pembakaran hingga pengujian, seperti dalam Gambar 1.1 dan Gambar 1.2.

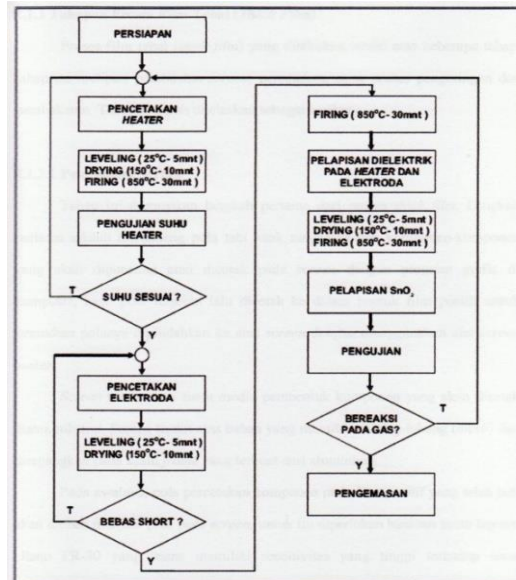


Gambar 1.1. Tahapan Proses Pembuatan Sensor Gas Teknologi Film Tebal

1.3 Tahapan Proses Film Tebal

Proses film tebal (*thick film*) yang dilakukan terdiri atas beberapa tahap, tahap ini meliputi pembuatan screen,

pencetakan, seta proses pengeringan dan pembakaran.



Gambar 1.2. Tahapan Inti Proses Pembuatan Sensor Gas Teknologi Film Tebal [5]

1.3.1 Pembuatan Screen

Tahap ini merupakan langkah pertama dari proses thick film. Langkah pertama adalah merancang pola tata letak rangkaian dan komponen-komponen yang akan digunakan atau dicetak pada screen dengan program grafis di computer, hasil pola tersebut lalu dicetak ke dalam bentuk film positif untuk kemudian polanya dipindahkan ke atas screen dengan menggunakan alat screen maker. Screen merupakan suatu media pembentuk komponen yang akan dicetak diatas substrat. Screen terdiri atas bahan yang memiliki lubang-lubang (*mesh*) dan diregangkan pad suatu frame yang terbuat dari aluminium. Pada awalnya, pola pencetakan komponen pada film positif yang telah jadi akan diubah menjadi pola pada screen, untuk itu diperlukan bantuan

suatu lapisan Ulano PR-30 yang mana memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap sinar ultra violet. Lapisan Ulano PR-30 ini dipotong sesuai dengan ukuran film positif dan direkatkan diatas screen dengan menggunakan isolasi, lalu diatasnya diletakkan film positif, lapisan Ulano PR-30 yang tertutup pola film positif tidak mendapatkan sinar ultraviolet dan akan mengalami proses pengelupasan, agar lapisan Ulano PR-30 terkelupas secara keseluruhan, maka screen disembur dengan air sehingga pola screen akan terbentuk pola komponen yang diinginkan.

Screen yang biasa digunakan dalam proses film tebal adalah polyester, nylon, serta stainless steel. Perbedaan dari masing-masing jenis screen tersebut dapat dilihat dalam Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Tabel perbandingan Screen

Parameter	Polyester	Stainless steel	Nylon
Elastisitas Sifat pencetakan	Sedang Bagus untuk area substrat	Rendah Bagus untuk area yang kecil	Tinggi Bukan untuk pasta merekat
Ketebalan pencetakan Daya tahan	Rendah-sedang Lama	Rendah-tinggi Sangat lama	Rendah-sedang Sedang
Daerah Pencetakan :			
Maksimum Tipikal	70% 10%	50% 10%	70% 10%

1.3.2 Pencetakan (Screen Printing)

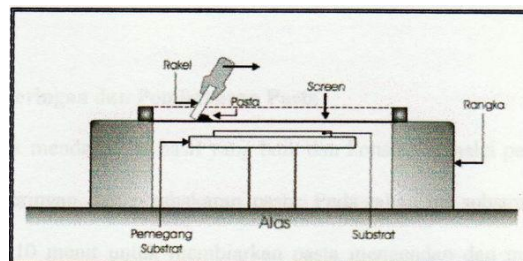
Pencetakan (*screen printing*) merupakan tahap selanjutnya setelah tahap pembuatan screen. *Screen Printing* atau pencetakan merupakan proses pemindahan bahan pasta ke atas permukaan substrat menurut

pola dan ukuran tertentu sesuai dengan pola pada screen yang telah dibuat.

Proses pencetakan membutuhkan beberapa peralatan dasar, antara lain:

- Screen, tidak hanya menentukan tempat pasta akan dicetak namun juga menentukan jumlah pasta yang dicetak.
- Alat penyapu (Rakel), menekan pasta agar melewati screen.
- Pemegang substrat
- Sekumpulan pneumatic, vacuum, dan atau system hidrolis yang mengoperasikan pencetak.
- Peralatan berat lainnya yang akan mempertahankan nilai akurasi serta ketepatan alat.

Gambar 1.4 menunjukkan bagian dasar sebuah pencetak film tebal (*thick film printer*)



Gambar 1.4 Elemen-elemen Pencetak Film Tebal

Fungsi utama dari alat penyapu (rakel) adalah untuk melewati pasta pada suatu substrat. Hal ini bisa tercapai dengan menekan pasta kedalam screen, permukaan screen akan menahan pasta selama pada permukaan tersebut tidak terdapat lubang untuk rangkaian atau pola.

Bentuk rakel, bahan yang digunakan, serta kekuatan penekanan yang dilakukan merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi daya tahan rakel dan

screen. Bahan yang digunakan untuk pembuatan rakel: neoprene, polyurethane, viton yang memiliki tingkat kekerasan 50-65 durometer pada saat optimum. Ketajaman rakel seharusnya memiliki ketajaman tepi dengan sudut $45^{\circ} - 60^{\circ}$.

1.3.3 Pengeringan dan Pembakaran Pasta

Untuk mendapatkan hasil yang baik dan konsisten, maka perlu dilakukan proses pengeringan dan pembakaran pasta. Pada tahap ini substrat diendapkan selama 5 – 10 menit untuk membiarkan pasta mengendap dan menghilangkan jalur-jalur bekas screen. Setelah itu pasta dikeringkan untuk menghilangkan bahan-bahan organik yang mudah menguap dengan cara pemanasan pada suhu 150°C , kurang lebih selama 15 menit.

Langkah selanjutnya adalah melakukan proses pembakaran pasta, proses ini dilakukan pada suatu tungku pembakaran yang memiliki tiga daerah pemanasan, yaitu:

- Daerah pemanasan awal (Preheat Zone), hingga 850°C , dilakukan kurang lebih 10 menit tergantung bahan material yang digunakannya.
- Daerah panas (Hot Zone), 850°C , dilakukan kurang lebih 10 menit.
- Daerah pendinginan (Cooling Zone), 850°C , dan berkurang samapai menuju suhu kamar, dilakukan kurang lebih 10 menit.

1.3.4 Pengemasan

Pengemasan (*packaging*) adalah proses membuat pelindung dari rangkaian

atau komponen terhadap pengaruh lingkungan misalnya korosi, kelembaban, suhu ekstrim ruangan, dan lain-lain dengan bahan enkapsulasi/dielktrik tertentu.

2. Sensor Gas Teknologi Film Tebal

Seperti dijelaskan terdahulu, bahwa udara di lingkungan kita tersusun dari berbagai macam gas, baik yang berbahaya atau tidak. Dan akan sangat sulit menciptakan sensor gas yang bisa membedakan keseluruhan gas-gas berbahaya tersebut sekaligus. Hal ini disebabkan karena setiap gas memiliki sifat kimia dan fisika yang berbeda-beda. Dan karena sifat-sifat yang berbeda itu (khususnya secara kimia), prinsip kerja dari sensor-sensor gas juga akan berbeda.

Secara garis besar, sensor gas teknologi thick film ini tersusun atas sepasang elektroda, pemanas dan sensitive layer yang peka terhadap rangsangan gas, yang kesemuanya dicetak pada kepingan substrat dari bahan (Al_2O_3) 96%, dengan struktur seperti dalam Gambar 2.1.

Bahan dari konduktor pada teknologi film tebal tergantung dari jenis substrat dan temperature pembakaran konduktor [3].

2.1 Substrat

Material utama yang digunakan dalam teknologi film tebal adalah substrat dan pasta. Substrat merupakan media tempat komponen film tebal diimplementasikan, sedangkan pasta adalah bahan pembentuk komponen film tebal, yang diformulasikan sedemikian rupa

sehingga dapat dibentuk melalui proses pencetakan.

Substrat yang digunakan biasanya adalah dari Alumina yang memiliki keunggulan dalam hal kekuatan fisik, sifat-sifat listrik, serta sifat-sifat termis. Kemurnian keramik alumina yang digunakan antara 95 – 96 %, sedangkan 4 – 6% biasanya berupa campuran antara kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan silica yang ditambahkan untuk meningkatkan reaktifitas alumina pada proses terbentuknya ikatan antara substrat dengan thick film. Alumina dengan kemurnian 99% jarang digunakan karena permukaannya terlalu halus, sedangkan adhesi yang lebih kuat akan terbentuk justru pada permukaan kasar.

Sebagai media tempat komponen direalisasikan, suatu substrat harus memenuhi beberapa criteria berikut ini:

A. Kekuatan mekanik

Substrat harus dapat melindungi komponen yang ditempatkan di atasnya, tidak mudah patah atau berubah bentuk.

B. Tahan suhu tinggi

Pasta-pasta film tebal tertentu membutuhkan pemrosesan pada suhu tinggi. Karena itu substrat yang digunakan harus tahan pada suhu tersebut tanpa mengalami perubahan.

C. Inert

Selain suhu tinggi, pada proses pabrikasi film tebal, substrat berhadapan dengan berbagai bahan kimia, baik yang berasal dari pasta atau efek samping pemrosesan. Substrat tidak boleh bereaksi dengan bahan-bahan kimia tersebut.

D. Resistivitas

Substrat harus merupakan isolator listrik yang baik, dengan kata lain harus memiliki resistivitas yang sangat tinggi.

E. Konstanta dielektrik

Konstanta dielektrik substrat harus serendah mungkin, untuk menghindari efek kapasitas parasitic yang mungkin timbul antar penghantar atau antar komponen.

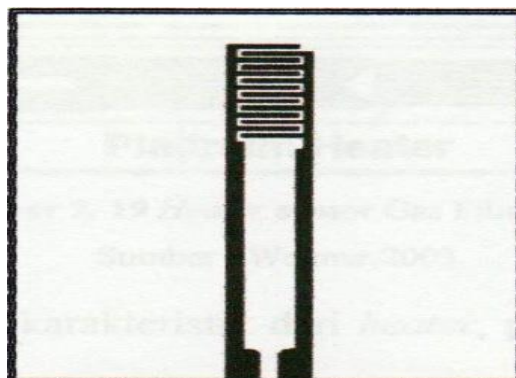
F. Konduktivitas termal

Substrat yang baik harus bersifat konduktor panas untuk mengurangi pemanasan local yang diakibatkan disipasi oleh komponen tertentu.

2.2 Elektroda

Elektroda yang digunakan pada sensor gas film tebal pada umumnya adalah sepasang elektroda berbentuk interdigital electrodes dari bahan nobel metal misalnya Au/Ag. Struktur tersebut dimaksudkan untuk meminimalisasi ruang namun dapat mengoptimalkan daerah sensing, serta memudahkan dalam penentuan nilai resistans

Adapun struktur yang biasa digunakan adalah seperti dalam Gambar 2.1.

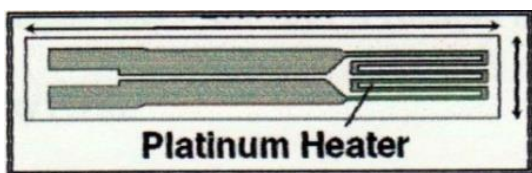


Gambar 2.1 Elektroda Sensor Gas Film Tebal [10].

2.3 Heater

Temperatur adalah salah satu factor terpenting yang menentukan keberhasilan dari sensor yang bersifat Chemoresistive. Distribusi temperature yang sesuai akan mempengaruhi tingkat selektifitas dan sensitifitas dari elemen sensor ini.

Dalam pemanas (heater) teknologi film tebal untuk sensor gas, umumnya dibuat dari pasta konduktif atau resistif (Au, Pt), namun ada juga yang memakai bahan dielektri jenis polimer. Umumnya heater dirancang di sisi belakang substrat (berkebalikan dengan elemen sensor). Sehingga nilai resitans dari lapisan aktif (yang merupakan utama yang menunjukkan sensitifitas sensor) sangatlah tergantung dari distribusi suhu, hal ini juga ditunjang oleh sifat substrat sebagai penghantar suhu yang sangat baik. Salah satu contoh bentuk dari heater teknologi film tebal dapat dilihat dalam dalam Gambar 2.2..



Gambar 2.2 Heater sensor Gas Film Tebal [10].

Untuk menentukan karakteristik dari heter, parameter-parameter yang harus diperhatikan diantaranya adalah: suhu yang diinginkan, daya yang dibutuhkan, dan luasan daerah yang ingin dipanasi, serta karakter dari bahan heater itu sendiri (TCR,

disipasi arus maksimum yang mampu melewati, dll).

$$R = \rho l/A \quad (2.1)$$

dengan:

ρ : resistivitas (Ω mm)

l : panjang resistor (mm)

A : luasan yang tegak lurus arah aliran arus (mm^2)

R : resistans (Ω)

Luas penampang (A) yang tegak lurus arah aliran arus resistor merupakan perkalian ketebalan film (t) dengan lebar (w). Pernyataan tersebut dapat ditulis dengan persamaan:

$$A = t \times w \quad (2.2)$$

Dengan

A : luasan yang tegak lurus arah aliran arus (mm^2)

T : tebal resistor (mm)

W : lebar resistor (mm)

Substitusi persamaan (2.2) ke persamaan (2.1) memberikan hasil sebagai berikut:

$$R = \rho l / (txw) \quad (2.3)$$

Dimana perbandingan antara bulk resistivity (ρ) dengan ketebalan (t) merupakan nilai dari sheet resistivity

$$\rho_{\square} = \rho / t \quad (2.4)$$

Dimana ρ_{\square} = sheet resistivity (Ω)

$$R = \rho_{\square} L / W \quad (2.5)$$

Selanjutnya dengan menentukan nilai w , maka nilai l akan didapat, dan juga total area $l \times w$ yang menentukan nilai power densisty dari heater (ESL Electro-Science, 2004). Sebagai catatan nilai maksimum power density yang diijinkan adalah 40 W/mm^2 , namun pada kasus tertentu bisa sampai 100 W/mm^2 (Haskard, 1988:98), [5].

2.4 Sensitive Layer

Sensitive layer atau lapisan material sensor merupakan bagian yang berhubungan langsung dengan gas, dimana reaksi elektrokimia terjadi di permukaan lapisan ini. Lapisan ini terbuat dari bahan In_2O_3 , yaitu bahan metal oxide tipe-n yang mempunyai celah energy yang relative lebar (3.6 eV) (Hann, 2003:15), [2].

Dimensi dari lapisan ini (yang mewakili konsentrasi In_2O_3) akan menentukan jangkauan pengukuran sensor.

3. Perancangan dan Proses Pembuatan Sensor Gas

3.1 Tahapan Perancangan dan Fabrikasi

Untuk mencapai hasil sesuai dengan yang diharapkan, proses pabrikasi sensor ini dilakukan dalam beberapa tahap. Tahapan-tahapan ini bisa dilihat dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan Proses Perancangan dan Fabrikasi Sensor Gas

3.2 Spesifikasi Sensor

Dalam proses perancangan suatu devais, sebagai langkah awal adalah menentukan spesifikasi dari divais yang akan dibuat. Adapun spesifikasi umum yang diharapkan peneliti dari sensor ini adalah sebagai berikut:

- Dimensi $\leq 10 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$
- Suhu operasi : $27^\circ\text{C} - 350^\circ\text{C}$
- Daya kerja heater : 10 W

3.3 Perancangan dan Pembuatan Tata Letak (Lay Out) Sensor

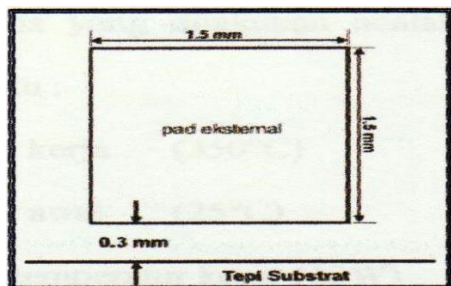
Perancangan yang akan dibahas disini ialah mengenai ketentuan umum dari perancangan, perancangan heater, perancangan elektroda dan perancangan lapisan sensitif.

3.3.1 Ketentuan Umum Perancangan

Pada dasarnya, suatu sensor gas teknologi film tebal terdiri dari beberapa komponen utam. Selain lapisan sensor itu sendiri, sensor gas teknologi film tebal tersusun dari sebuah pemanas atau heater dan sepasang elektroda. Baik heater ataupun elektroda, keduanya merupakan jenis konduktor. Oleh sebab itu dalam perancangan sensor gas tekonologi film tebal ini perlu diperhatikan aturan-aturan dalam merancang suatu konduktor film tebal termasuk juga external pad.

Pada sensor gas yang akan dibuat nantinya, ujung-ujung heater dan pasangan elektroda, masing-masing mempunyai pad eksternal sebagai tempat menempelnya kaki-kaki penghubung. Dimensi ideal dari

pad eksternal adalah 1,5 mm x 1,5 mm sampai dengan 2 mm x 2 mm, dengan jarak dari tepi substrat sebesar 0,3 mm. Secara sistematis, aturan perancangan pad eksternal dapat dilihat dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Aturan Perancangan Pad Eksternal Film Tebal [5].

Selanjutnya, pada aplikasi heater, supaya temperatur yang dihasilkan bisa dipusatkan pada bagian yang diinginkan, dan pada elektroda supaya kepresisian dimensi lapisan sensor terjaga, maka diperlukan semacam isolator dari bahan dielektrik yang dilapiskan diatas kedua komponen tadi, pelapisan ini disebut juga enkapsulasi.

3.3.2 Perancangan Pemanas (Heater)

Temperatur adalah salah satu factor terpenting yang menentukan keberhasilan dari sensor gas teknologi film tebal ini. Distribusi temperature yang sesuai akan mempengaruhi tingkat selektifitas dan sensitifitas dari elemen sensor ini. Pemanas ini dirancang terletak bersebelahan dengan elektroda.

Untuk menentukan karakteristik dari heater, parameter-parameter yang harus diperhatikan diantara adalah: suhu yang diinginkan, daya yang dibutuhkan, dan luasan daerah yang ingin dipanasi, serta karakter dari bahan heater itu sendiri (TCR, disipasi arus maksimum yang mampu

melewati, dll). Untuk itu, langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan karakteristik heater yang diinginkan, yaitu:

Th: Temperatur kerja (350 °C)

Tc: Temperatur awal (25 °C)

P: Daya pada temperature kerja (10 W)

TCR: *Temperature Coefficient Resitance* (3900)

Langkah selanjutnya adalah menentukan nilai resitans heater pada temperature kerja (RH). Perhitungan nilai RH diawali dengan menentukan tegangan sumber, sumber tegangan yang digunakan bervariasi mulai dari 2V hingga 10V. Tegangan sumber sebesar 2V hingga 10V dipilih dengan pertimbangan dimana dengan tegangan sebesar 10V temperature kerja yang diinginkan dapat tercapai dan dengan daya 10 W maka nantinya bisa dihasilkan arus kerja yang cukup yang sesuai dengan karakteristik bahan yang digunakan. Adapun dimensi heater dalam Gambar 3.4 dijelaskan pada Tabel 3.1 berikut.

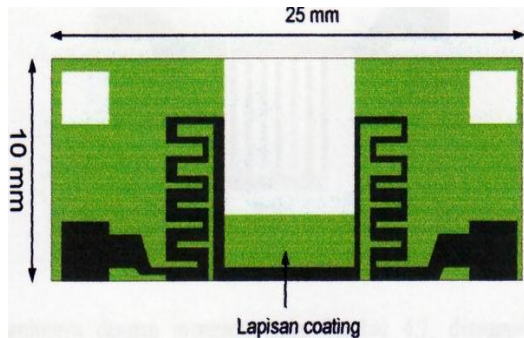
Tabel 3.1 Keterangan Dimensi *layout* Heater

Notasi	Keterangan
A	Panjang Heater
B	Lebar Heater
C	Panjang Heater Efektif
D	Lebar Jalur Heater
E	Jarak Antar Jalur Heater
F	Lebar Jalur Heater

Selanjutnya, untuk menghasilkan panas heater yang optimal, permukaan heater dilapisi dengan sejenis bahan dielektrik tahan panas yang disebut juga coating. Lapisan ini dibuat menutupi daerah efektif heater, dimaksudkan supaya panas yang dihasilkan tidak terlalu cepat

terbuang, melainkan terus mengalir ke elektroda di sisi sebaliknya.

Bentuk rancangan lapisan coating ini dapat dilihat dalam Gambar 3.3.



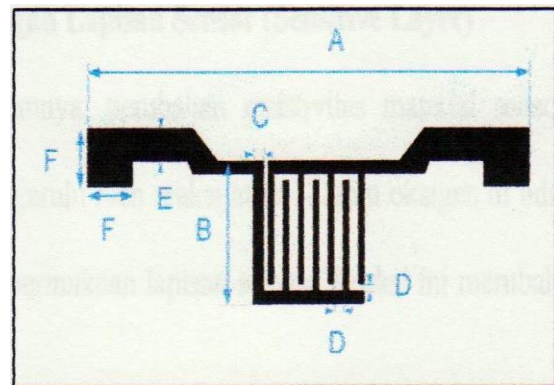
Gambar 3.3 Lapisan Coating Heater

3.3.3 Perancangan Elektroda

Elektroda yang digunakan pada thick film gas sensor pada umumnya adalah sepasang elektroda berbentuk interdigital fingers dari bahan nobel metal misalnya Au atau Ag. Struktur tersebut dimaksudkan untuk meminimalisasi ruang namun dapat mengoptimalkan daerah sensing, serta memudahkan dalam penentuan nilai resistans.

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa nilai tersebut hanyalah nilai resistans masing-masing elektroda pada area 6mm x 6mm. Layaknya sebuah sensor, sesuai dengan Gambar 3.4, maka diperlukan pad-pad dan kaki-kaki pada elektroda tersebut. Dengan juga mengacu pada spesifikasi sensor yang disebutkan sebelumnya yaitu ukuran panjang dari sensor yang tidak lebih dari 25 mm, maka perlu penambahan kaki dan pad. Untuk menyesuaikan dengan substrat yang tersedia dan mengoptimalkan area maka dalam penelitian ini panjang sensor ditentukan sepanjang 23 mm. Dari berbagai tahapan dan hasil perancangan elektroda

diatas, maka didapatkan desain layout elektroda seperti dalam Gambar 3.5.



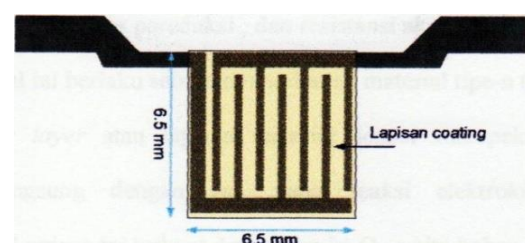
Gambar 3.4 Desain Layout Elektroda Sensor

Keterangan dari Gambar 3.6 dijelaskan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Keterangan Dimensi Layout Elektroda

Notasi	Keterangan
A	Panjang Elektroda
B	Lebar Elektroda
C	Lebar Jari-jari Elektroda
D	Jarak Antar Jari-jari Elektroda
E	Lebar Konduktor Kaki Elektroda
F	PanjangxLebar Pad Elektroda

Selanjutnya, untuk menjamin luas daerah penyensoran pada elektroda, dibuat lapisan dielektrik di tepi-tepi elektroda seperti dalam Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Lapisan Coating Elektroda

3.3.4 Perancangan Lapisan Sensor (Sensitive Layer)

Pada umumnya, perubahan resistivitas material sensor ketika bereaksi dengan gas dipengaruhi oleh reaksi atom-atom oksigen di udara dengan atom-atom oksigen di permukaan lapisan sensor. Reaksi ini merubah *potential barrier* antar ikatan atom.

Reaksi diawali ketika lapisan material sensor mengikat oksigen dari udara, oksigen tersebut menjadi bermuatan negative sehingga terbentuk *potential barrier* yang disebut Schottky barrier. Ketika ada gas (misal: gas NO_2), maka gas ini akan bereaksi dengan oksigen yang telah terikat pada permukaan lapisan sensor ($\text{NO}_2 + \text{O}^{2-} \rightarrow \text{NO}_2\text{O} + 2\text{e}^-$) yang mengakibatkan perubahan *Schottky barrier*.

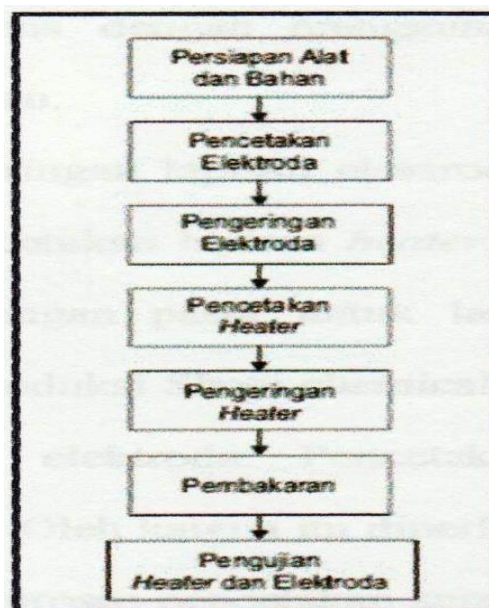
Pada umumnya, sinyal respon sensor (bertambah / berkurangnya nilai resistans) ditentukan menurut jenis material sensor dan gas yang disensor. Untuk gas, digolongkan menjadi gas pengoksidasi dan gas pereduksi, sedangkan untuk material sensor dapat diklasifikasikan menjadi material tipe-p atau tipe-n sesuai dengan respon sinyalnya. Pada material tipe-p, nilai resistansi akan bertambah ketika bereaksi dengan gas pereduksi, resistansi akan berkurang terhadap gas pengoksidasi, hal ini berlaku sebaliknya terhadap material tipe-n [9].

3.3.5 Proses Fabrikasi Heater dan Elektroda

Langkah-langkah yang dilakukan dalam proses ini dapat dijelaskan dalam Gambar 3.6. Seperti terlihat dalam Gambar 3.6, langkah pertama dalam proses ini

adalah mempersiapkan peralatan dan bahan.

Langkah selanjutnya adalah proses pencetakan, lapisan pertama yang dicetak adalah elektroda. Screen dengan pola elektroda diatur sedemikian rupa pada screen printer sehingga pola elektroda yang akan dicetak berada pada posisi yang tepat diatas bidang permukaan substrat. Selanjutnya dilakukan pengaturan jarak *snap-off* dan tekanan rakel pada screen printer. Setelah itu dilakukan proses pencetakan dengan pasta konduktor dari bahan emas. Nama produk pasta yang digunakan adalah D-5670 (Shoei Chemical Inc.).



Gambar 3.6 Langkah-langkah proses fabrikasi Heater dan Elektroda

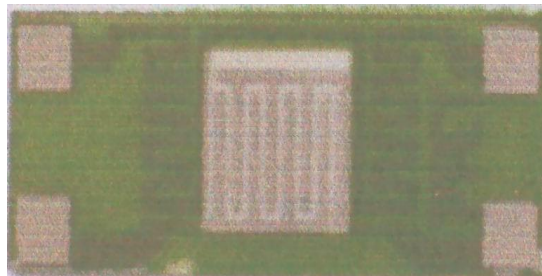
Setelah lapisan elektroda tercetak dengan benar, hasil cetakan didiamkan selama kurang lebih 5 menit, supaya permukaan cetakan menjadi halus dan ikatan pasta menjadi kuat. Selanjutnya dilakukan pengeringan dengan menggunakan oven. Temperatur yang

digunakan 100°C selama 15 menit. Pengeringan dilakukan supaya lapisan elektroda tadi menjadi keras. Sampai tahap ini, lapisan elektroda masih bisa dihapus dengan menggunakan thinner jika diinginkan pengulangan proses pencetakan.

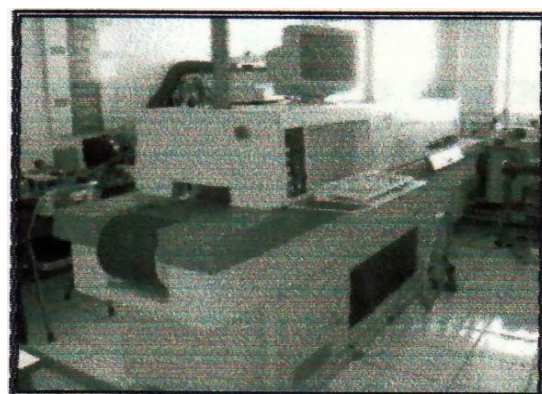
Setelah proses pengeringan lapisan elektroda, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah proses pencetakan lapisan heater. Pasta yang digunakan untuk lapisan heater ini sama dengan pasta untuk lapisan elektroda, yaitu pasta Palladium Silver (D-5670 produksi Shoei Chemical Inc.). Proses ini sama dengan proses pencetakan lapisan elektroda. Pencetakan heater dilakukan tepat dibelakang lapisan elektroda. Oleh karena itu diperlukan pengaturan letak masker heater yang cermat sebelum proses pencetakan supaya posisi lapisan heater tepat dibalik lapisan elektroda. Seperti pada lapisan elektroda, setelah proses pencetakan, lapisan heater juga didiamkan selama 5 menit baru kemudian dikeringkan dalam oven dengan temperature 100°C selama 15 menit.

Setelah proses pengeringan, langkah selanjutnya adalah proses pembakaran. Pembakaran dilakukan dengan menggunakan tungku pembakaran (Conveyor belt furnace RTC LA-310) yang bisa diatur temperature dan kecepatannya melalui computer dan program yang sudah built in. Tungku pembakaran dilihat dalam Gambar 3.7. Pengaturan temperature dilakukan pada tiga zone pembakaran dengan temperature puncak 850°C dan lamanya kurang lebih 45 menit. Setelah

proses pembakaran, didapatkan hasil seperti dalam Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Hasil Pembakaran Lapisan Heater dan Elektroda



Gambar 3.8 Tungku pembakaran untuk pembuatan devais Sensor Gas dengan teknologi Film Tebal (Conveyor belt furnace RTC LA-310)

KESIMPULAN

Sensor gas teknologi *thick film* yang telah dibuat tersusun atas tiga komponen dasar yaitu, pemanas (heater), elektroda dan lapisan sensor (MOX).

Heater Sensor Gas hasil fabrikasi mampu mencapai suhu kerja sampai 350°C dengan tegangan masukan sebesar 8 volt.

Sensor gas teknologi *thick film* yang berlapiskan MOX seperti: SnO_2 , In_2O_3 , WO_3 , ZnO , TiO_2 , Fe_2O_3 , ITO bisa bereaksi terhadap gas-gas polutan seperti: SO_x , NO_x , CO , NH_3 , H_2S .

UCAPAN TERIMAKASIH

Semua pihak yang memberikan kontribusi pada penelitian yang dilakukan dituliskan pada bagian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Wikipedea, 2007.
- [2] Taguchi, N., US Patent 3 644 795.
- [3] Taguchi, N., Japanese Patent 47-38840.
- [4] Hann S, "SnO₂ Thick Film sensors at Ultimate limits : Performance at Low O₂ and H₂O Concentration Size Reduction by CMOS Technology", *Der Fakultat far Chemie and Pharmazie der Eberhard-Karls-Universiteit Tubingen, Germany*, 2002.
- [5] Haskard, Malcolm. R, "*Thick Film Hybrid Manufacture and Design*", Prentice Hall, Inc, New Jersey, 1998.
- [6] Widodo, Slamet, *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, 4-5 -Agustus 2010.
- [7] Widodo, Slamet, *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, 15 September 2012.
- [8] Widodo, Slamet, *Studi Sintesis Timah Oksida (SnO₂) Nano Partikel Dengan Metode Sol Gel Sebagai Bahan Aktif Pada Sensor Gas*, Prosiding Seminar Tjipto Utomo, Volume 9 Th 2012, Teknik Kimia, Institut Teknologi Nasional (ITENAS) Bandung , 27 September 2012.
- [9] Hunter G.W, "Chemical Microsensor", *The Electrochemical Society Interface*, 2004.
- [10] Weimar. U, "Understanding the Fundamental Principle of Metal Oxide Based Gas Sensor", The Exampel of CO Sensing with SnO₂ Sensor in the Presence of Humidity, *Institute of Physical and Theoretical Chemistry*, University of Tuebingen, Germany, 2003.
- [11] Cirera. A, "*SnO₂ Based Semiconductor Gas*", 2000.

PEMAKALAH : Slamet Widodo

TANYA : Taufik Ihsan

PERTANYAAN :

Apakah sensor gas sudah diaplikasikan untuk mendeteksi suatu gas? Apakah dapat digunakan untuk mendeteksi semua gas?

JAWABAN:

Sudah diaplikasi ke gas polutan dan bisa diaplikasikan untuk semua gas