

PENGARUH DOPING INDIUM TERHADAP SENSITIVITAS SENSOR GAS DARI LAPISAN TIPIS SnO₂

Suharni dan Sayono

Pusat Teknologi Akselerator dan Proses Bahan-BATAN

ABSTRAK

PENGARUH DOPING INDIUM TERHADAP SENSITIVITAS SENSOR GAS DARI LAPISAN TIPIS SnO₂. Telah dipelajari ketergantungan sensitivitas sensor gas pada berat/konsentrasi indium (In). Sensor gas SnO₂ tanpa doping indium dan didoping indium SnO₂: In disiapkan dengan teknik DC sputtering dengan parameter proses sputtering tegangan elektroda 3 kV, arus 20 mA, tekanan vakum $1,8 \times 10^{-1}$ torr, waktu deposisi 60 menit dan suhu 200 °C. Penelitian ini dilakukan dengan variasi berat indium 0,0375 gr, 0,0485 gr, dan 0,0702 gr untuk mendapatkan hasil yang paling optimum. Untuk mengetahui keberhasilan efek doping indium pada permukaan lapis tipis SnO₂ dilakukan pengukuran resistansi, sensitivitas dan waktu tanggap sebagai fungsi suhu operasi sensor dengan gas uji karbon monoksida (CO), Amoniak (NH₃) dan aseton (CH₃COCH₃). Berdasarkan analisis data hasil penelitian, menunjukkan bahwa doping indium 0,0702 gr pada lapisan tipis SnO₂ mampu menurunkan resistansi dari 832,0 kΩ menjadi 3,9 kΩ dan suhu operasi dari 200°C menjadi 90°C serta meningkatkan sensitivitas dari 15,92% menjadi 40,09% dan waktu tanggap dari 30 detik menjadi 10 detik terhadap CO.

Kata kunci: sputtering, doping, indium, resistansi, sensitivitas dan waktu tanggap.

ABSTRACT

EFFECT OF INDIUM DOPING ON THE SENSITIVITY OF SnO₂ GAS SENSOR. The dependence of sensitivity of SnO₂ gas sensors on indium concentration has been studied. Undoped and indium-doped SnO₂ gas sensors have been prepared by DC sputtering technique with following parameters i.e : electrode voltage of 3 kV, current 20 mA, vacuum pressure $1,8 \times 10^{-1}$ torr, deposition time 60 minutes and temperature of 200 °C. The effect of weight variations of indium in order of 0.0370; 0.0485 and 0.0702 grams into SnO₂ thin film gas sensor for optimum result were investigated. The measurement of resistance, sensitivity and response time for various temperature for detecting of carbon monoksida (CO), Amoniak (NH₃) and acetone (CH₃COCH₃) gas for indium doped has been done. From the analysis result shows that for indium doped 0.0702 g on the SnO₂ the resistance can be decreased from 832.0 kΩ to 3.9 kΩ and the operating temperature from 200°C to 90°C and improving the sensitivity from 15.92% to 40.09% and a response time from 30 seconds to 10 seconds for CO.

Keywords : sputtering, doping, indium, resistance, sensitivity, and respon time.

PENDAHULUAN

Pembuatan sensor gas semakin berkembang sejak pertama kali, Seiyama dan Taguchi^[1] menerapkan prinsip interaksi atom dan molekul dengan permukaan bahan semikonduktor untuk mendeteksi gas berbasis sensor gas *chemoresistiv* (perubahan tahanan dan resistansi bahan serapan kimia gas). Sensor gas semikonduktor merupakan alat deteksi yang mempunyai sensitivitas terhadap gas-gas lingkungan dan mampu difabrikasi dalam bentuk lapisan tipis dengan menggunakan bahan oksida logam salah satunya SnO₂. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa bahan seperti TiO₂, ZnO, dan SnO₂ terbukti mampu mendeteksi gas O₂, CO dan beberapa jenis gas hidrokarbon^[2].

Lapisan tipis SnO₂ merupakan jenis semikonduktor tipe-n yang banyak dipilih sebagai bahan dasar sensor gas. Hal ini berdasarkan pada aplikasi yang luas, harga yang murah dibanding semikonduktor lain, mampu merespon sejumlah gas dengan baik, memiliki usia pakai yang lama, dan

hanya membutuhkan piranti elektronik yang sederhana dalam implementasi pengindraannya^[3].

Penelitian mengenai lapisan tipis terus dilakukan untuk menemukan bahan sensor gas yang sensitif dengan waktu lebih singkat dan biaya yang lebih kecil. Parameter baik tidaknya suatu sensor misalnya sensitivitas dan waktu tanggap (*response time*) yang cepat. Sejak adanya petunjuk bahwa respon muncul dari reaksi antara gas yang akan dideteksi dengan permukaan sensor, beberapa pengotor (dopan) telah digunakan sebagai katalis dalam pembuatan sensor-sensor gas untuk memperoleh respon yang lebih cepat dan membuat bahan sensor lebih sensitif dan selektif terhadap gas-gas tertentu^[4]. Pendopingan unsur-unsur golongan III seperti aluminium, indium, atau galium pada lapisan tipis semikonduktor dapat menunjukkan stabilitas dan sensitivitas yang baik untuk sensor gas dengan pengaruh resistansi yang kecil^[5]. Pada penelitian ini dilakukan pendopingan indium pada lapisan tipis SnO₂ yang akan digunakan sebagai bahan sensor gas

untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kinerja sensor gas lapisan tipis SnO_2 .

Kontaminasi dalam atmosfer dari berbagai gas semisal hidrogen, karbon monoksida (CO), dan lainnya dapat menimbulkan bahaya bagi kesehatan manusia. Pendeteksian gas-gas tersebut sangat penting dilakukan untuk mengetahui jumlahnya di lingkungan. Salah satu dari material yang terkenal untuk sensor gas khususnya untuk mendeteksi gas pencemar di udara tersebut adalah lapisan tipis SnO_2 .

Teknik pendeposisian lapisan tipis SnO_2 yang didoping indium dapat dilakukan menggunakan metode *DC sputtering*, *evaporasi*, *spray pyrolysis*. Metode *DC sputtering* memanfaatkan pelepasan atom-atom dari suatu bahan (target) akibat terjadinya proses transfer energi ke atom-atom permukaan target ketika terjadi tumbukan ion argon dengan target. Atom-atom target yang terlepas kemudian akan didepositkan pada permukaan substrat sehingga akan terbentuk suatu bahan lapisan tipis^[6]. Keunggulan metode *sputtering* yaitu dapat mendeposisikan atom-atom dari target pada bahan semikonduktor dan isolator, serta kecepatan pelapisannya tinggi^[7]. Lapisan tipis SnO_2 yang didoping indium sebagai sensor gas dikarakterisasi terhadap pengaruh resistansi yang meliputi suhu operasi, sensitivitas, dan waktu tanggap.

Tujuan dari penambahan unsur indium pada lapisan tipis diharapkan dapat meningkatkan daya serap dan menurunkan resistansi permukaan sensor sehingga dapat meningkatkan sensitivitas dan menurunkan suhu operasi sensor. Dari hasil penelitian ini diharapkan lapisan tipis SnO_2 :In yang diperoleh dapat digunakan sebagai bahan sensor gas yang memiliki sensitivitas tinggi dan pada suhu operasi yang lebih rendah dibandingkan sebelum dilakukan penambahan indium. Sehingga dengan penambahan indium pada bahan SnO_2 diharapkan dapat meningkatkan kinerja sensor gas.

TATA KERJA

Untuk membuat lapisan SnO_2 yang didoping dengan indium dilakukan dengan teknik *DC sputtering*. Tahapan dalam penelitian ini meliputi:

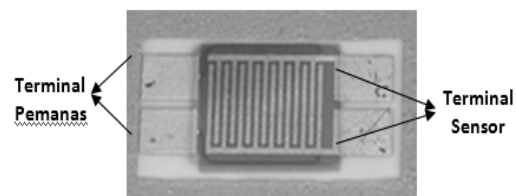
Preparasi substrat

Bahan untuk substrat adalah alumina yang telah dipotong dengan ukuran $20 \times 10 \times 0,75$ mm. Sebelum digunakan sebagai substrat, kepingan alumina tersebut harus dicuci secara bertahap menggunakan *ultrasonic cleaner*. Pencucian bertahap dimaksudkan untuk melarutkan kotoran dan minyak yang melekat pada alumina. Pencucian tahap pertama, memasukkan alumina ke dalam campuran air dengan deterjen pada gelas ukur, kemudian digetarkan dengan *ultrasonic cleaner*. Setelah 30 menit, substrat dikeringkan dengan *hair dryer*, kemudian dengan cara yang sama dilanjutkan pencucian tahap kedua menggunakan alkohol. Setelah 30 menit, substrat

dikeringkan lagi dengan *hair dryer* dan diletakkan dalam cawan lalu dioven selama 1 jam pada suhu 150°C . Setelah dingin, substrat dimasukkan dalam plastik klip dan pengambilannya selalu menggunakan pinset. Substrat alumina yang telah bersih kemudian dibuat pola elektroda dan sistem pemanas sensor dari bahan emas dengan metode *lithography*.

Teknik pembuatan lapisan tipis

Untuk membuat lapisan tipis SnO_2 yang didoping indium (SnO_2 :In) dengan berat indium divariasikan : 0,0370; 0,0485 dan 0,0702 gram dilakukan dengan teknik *DC sputtering*. Langkah-langkah deposisi lapisan tipis dengan teknik *DC sputtering* adalah sebagai berikut: Memasang target SnO_2 :In pada katoda dan meletakkan substrat alumina yang telah ada pola elektrodanya pada anoda, kemudian tabung reaktor plasma ditutup dan dilakukan penvakuman dengan pompa *rotary* dan turbomolekul hingga dicapai tekanan $1,3 \times 10^{-5}$ torr. Menghidupkan pendingin target dan pemanas substrat pada suhu 200°C . Selanjutnya gas Ar dimasukkan ke dalam tabung reaktor sebagai penghasil plasma dan mengatur aliran gas melalui kran mikrometer hingga mencapai tekanan operasi yang diinginkan, yaitu $1,8 \times 10^{-1}$ torr. Proses deposisi lapisan SnO_2 :In dimulai dengan menghidupkan sumber daya tegangan tinggi DC hingga mencapai 3 kV dan arus 20 mA, tekanan $1,8 \times 10^{-1}$ torr dengan waktu deposisi selama 60 menit pada suhu 200°C . Proses *sputtering* dihentikan setelah waktu deposisi telah dicapai. Dengan mengulangi cara yang sama kemudian dilakukan deposisi SnO_2 :In dengan berat 0,0485 dan 0,0702 gram. Sebagai hasilnya dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Hasil *sputtering* lapisan tipis SnO_2 :In pada substrat alumina sebagai bahan sensor gas.

Pengujian atau karakterisasi

a. Penentuan suhu operasi sensor

Penentuan suhu operasi sensor dilakukan dengan memberi suhu pada lapisan tipis SnO_2 :In mulai suhu kamar sampai dengan suhu tertentu dengan kenaikan 10°C . Pada setiap kenaikan suhu, setelah dicapai kondisi nilai resistansi yang relatif stabil dicatat resistansinya. Bila penambahan suhu sudah tidak berpengaruh pada penurunan nilai resistansi maka penambahan suhu tersebut dihentikan. Pada daerah nilai R tidak dipengaruhi oleh kenaikan suhu tersebut disebut suhu operasi sensor. Dari hasil

pengukuran resistansi sebagai fungsi suhu selanjutnya dibuat grafik suhu operasi sensor. Suhu operasi sensor ini menjadi acuan untuk mengoperasikan sensor gas dalam menentukan karakterisasi berikutnya seperti: sensitivitas dan waktu tanggap (*respon time*) dari sensor gas.

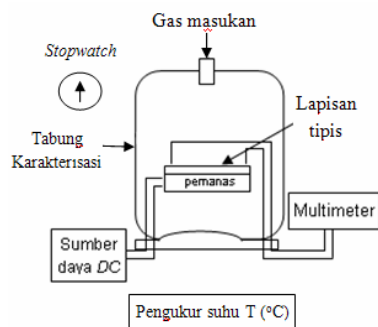
b. Pengujian sensitivitas sensor gas

Pengukuran sensitivitas ditentukan dengan menggunakan gas uji karbon monoksida (CO), amoniak (NH₃) dan acetone (CH₃COCH₃) dengan volume divariasi mulai 2 cc s/d 20 cc dengan interval 2 cc. Langkah penentuan sensitivitas sebagai berikut : Memasang sensor SnO₂:In sebagai sensor pada alat karakterisasi, mengatur suhu operasi sensor pada suhu yang telah ditentukan sesuai dengan hasil penentuan suhu operasi sensor, setelah dicapai kondisi yang stabil resistansi sensor sebelum diberi gas dicatat sebagai (R_n). Kemudian gas uji CO dimasukkan ke dalam tabung karakterisasi dengan volume divariasi mulai 2 cc s/d 20 cc dengan interval 2 cc dan *stopwatch* dihidupkan serta dicatat nilai resistansinya sebagai (R_g) setelah kondisinya yang relatif stabil. Ketika resistansi relatif stabil dikatakan bahwa sensor telah tanggap terhadap gas yang diberikan. Dari hasil pengukuran resistansi sebelum diberi gas (R_n) dan sesudah diberi gas (R_g) selanjutnya ditentukan sensitivitasnya menggunakan persamaan $S = \Delta R/R_n = |(R_g - R_n)/R_n|$ dan dibuat grafik hubungan konsentrasi terhadap sensitivitas. Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk menentukan sensitivitas sensor untuk gas uji yang lain. Untuk skema karakterisasi dapat dilihat pada gambar 2.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian

Lapisan tipis SnO₂ tanpa doping dan SnO₂ doping indium (SnO₂:In) pada substrat alumina dengan teknik *DC sputtering* pada penelitian ini telah terbentuk, yang ditandai dengan adanya lapisan warna kuning pada substrat alumina, kondisi ini dicapai pada parameter *sputtering* sebagai berikut: tegangan operasi 3 kV, arus 20 mA, waktu deposisi 60 menit, suhu substrat 200°C, dan tekanan 1,8x10⁻⁵ torr.



Gambar 2. Skema alat karakterisasi sensor gas.

Pengaruh variasi doping indium terhadap resistansi lapisan tipis

Penambahan/doping indium (In) pada bahan SnO₂ sebagai bahan dasar sensor gas dimaksudkan untuk mendapatkan lapisan tipis yang memiliki serapan gas yang tinggi, sehingga bila digunakan untuk sensor gas akan mempunyai sensitivitas yang tinggi. Pengaruh doping indium yang optimum dapat diketahui dengan melakukan variasi berat doping indium yaitu 0,0370 g, 0,0485 g dan 0,0702 g. Hasil pengukuran resistansi lapisan tipis SnO₂:In terhadap variasi doping indium (penambahan doping In) ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran resistansi lapisan tipis SnO₂:In terhadap variasi berat doping indium.

Doping Indium (g)	Resistansi (kΩ)
0	832,0
0,0370	18,0
0,0485	5,0
0,0702	3,9

Dari tabel 1 menunjukkan bahwa nilai resistansi cenderung menurun dengan bertambahnya doping indium. SnO₂ sebelum didoping indium mempunyai resistansi sebesar 832,0 kΩ. Setelah dilakukan doping pada permukaan lapisan tipis SnO₂, maka terjadi penurunan nilai resistansi hingga mencapai 3,9 kΩ-18 kΩ. Hal ini disebabkan oleh kehadiran atom indium akan meningkatkan populasi elektron yang menempati posisi di bawah pita konduksi, sehingga dengan tambahan energi termal yang kecil sudah mampu menggerakkan elektron tersebut meloncat ke pita konduksi. Kondisi tersebut mengakibatkan sifat kelistrikan permukaan bahan lebih konduktif atau nilai resistansi bahan semakin menurun.

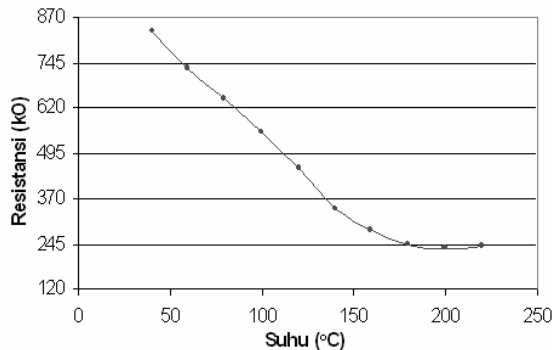
KARAKTERISASI LAPISAN TIPIS SEBAGAI BAHAN SENSOR GAS

Penentuan suhu operasi

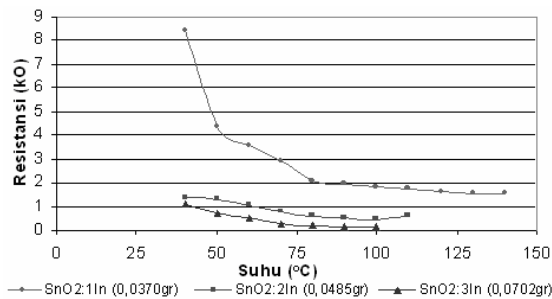
Penentuan suhu operasi sensor sangat diperlukan untuk mengetahui rentang suhu lapisan tipis SnO₂ dan SnO₂:In dapat berfungsi sebagai sensor gas. Grafik penentuan suhu operasi lapisan tipis SnO₂ dan SnO₂:In ditunjukkan pada gambar 3 dan gambar 4.

Berdasarkan gambar 3 dan gambar 4 terlihat bahwa bahan mempunyai kecenderungan semakin tinggi suhu yang dikenakan pada lapisan tipis, maka nilai resistansinya akan semakin rendah. Pengaruh suhu terhadap konduktivitas kristal semikonduktor oksida logam ditimbulkan oleh kehadiran *defect* (cacat) titik. Ketika suhu dinaikkan, maka *defect* akan terionisasi dengan menghasilkan elektron bebas. *Defect* tersebut akan membentuk level donor sedikit di

bawah pita konduksi, yang ketika diberikan pengaruh eksternal misalnya dengan peningkatan suhu dan energinya melebihi energi gap, maka pada level donor dapat tereksitasi dan naik ke dalam pita konduksi. Ketika *defect* terionisasi, maka konduktivitas kristal semikonduktor oksida logam akan muncul dengan elektron sebagai pembawa muatan. Peningkatan konduktivitas (resistansi turun) bahan SnO_2 dan $\text{SnO}_2:\text{In}$ sebanding dengan kenaikan suhu. Hal ini merupakan salah satu sifat penting dari bahan semikonduktor.



Gambar 3. Penentuan suhu operasi lapisan tipis SnO_2 tanpa doping indium.



Gambar 4. Penentuan suhu operasi lapisan tipis $\text{SnO}_2:\text{In}$.

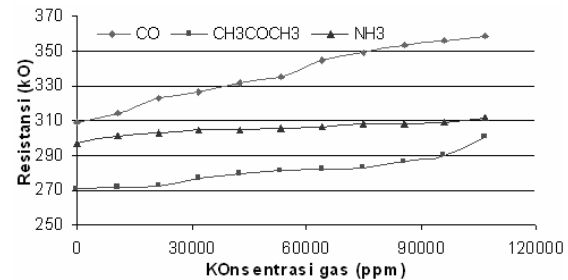
Pada beberapa sensor, nilai resistansi kembali menunjukkan gejala kenaikan pada suhu tertentu. Gaskov dan Rumyantseva [3] mengatakan bahwa hal tersebut dapat terjadi karena pada suhu di atas suhu operasi sensor, oksigen yang teradsorpsi akan menarik elektron dari bagian dalam butir yang mengakibatkan pertambahan ketebalan lapisan deplesi yang terlalu besar sehingga seluruh butir akan berada pada daerah bebas/kosong elektron yang menyebabkan peningkatan resistivitas.

Semakin naik suhu maka resistansinya cenderung menurun dan mulai stabil pada kondisi suhu tertentu. Ini berarti bahwa, nilai resistansi pada kondisi tertentu sudah tidak terpengaruh (pengaruhnya sangat kecil) oleh kenaikan suhu. Rentang suhu tersebut dikenal sebagai suhu operasi sensor. Lapisan SnO_2 tanpa indium diperoleh suhu operasi sebesar 200°C sedangkan untuk doping indium diperoleh suhu

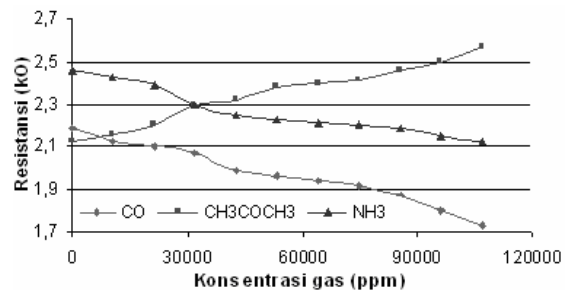
operasi pada rentang suhu 90°C - 120°C . Pengaruh doping indium pada bahan SnO_2 mampu menurunkan suhu operasi. Kestabilan nilai resistansi bahan pada suatu rentang suhu dapat dipahami bahwa tidak terjadi penambahan jumlah pembawa muatan, sehingga tidak ada perubahan konduktivitas yang ditunjukkan dengan nilai resistansi yang relatif stabil. Pada suhu operasi tersebut, perubahan sensitivitas dari sensor gas tidak dipengaruhi (diakibatkan) oleh panas tetapi disebabkan adanya proses serapan gas yang mengenai permukaan bahan sensor.

Tanggap berbagai macam gas uji terhadap resistansi lapisan tipis SnO_2 dan $\text{SnO}_2:\text{In}$

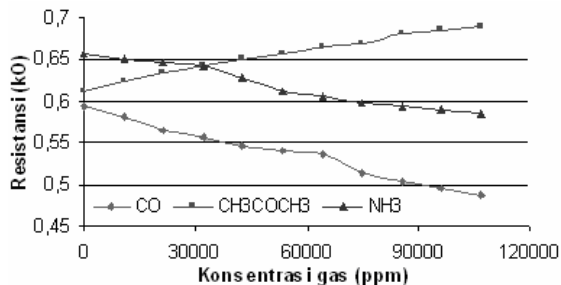
Lapisan tipis bahan sensor gas yang dihasilkan akan memberi tanggap tertentu terhadap suatu gas uji yang digunakan. Tanggap akan terjadi akibat adanya reaksi antara gas uji dengan permukaan lapisan tipis. Tanggap diperlihatkan dengan adanya perubahan nilai resistansi lapisan tipis SnO_2 dan $\text{SnO}_2:\text{In}$ ketika gas uji disuntikkan (dimasukkan ke tabung uji).



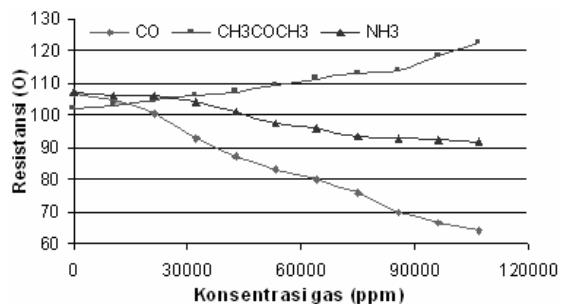
Gambar 5. Tanggap berbagai gas uji terhadap resistansi lapisan tipis SnO_2 tanpa doping indium.



Gambar 6. Tanggap berbagai gas uji terhadap resistansi lapisan tipis $\text{SnO}_2:\text{In}$ pada variasi doping indium 0,0370 g.

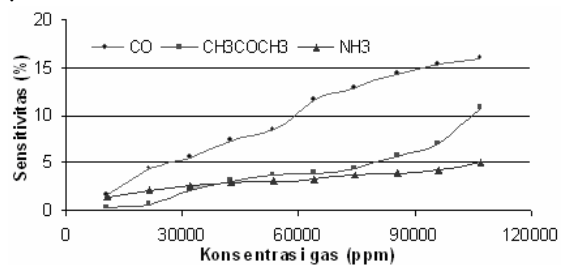


Gambar 7. Tanggap berbagai gas uji terhadap resistansi lapisan tipis SnO₂:In pada variasi doping indium 0,0485g.



Gambar 8. Tanggap berbagai gas uji terhadap resistansi lapisan tipis SnO₂:In pada variasi indium 0,0702 g.

Sensitivitas lapisan tipis



Gambar 9. Sensitivitas serapan gas lapisan tipis SnO₂ tanpa doping indium.

Pengujian sensitivitas sensor SnO₂ dan SnO₂:In menggunakan 3 jenis gas yaitu karbon monoksida (CO), aceton (CH₃COCH₃), dan amoniak (NH₃). Konsentrasi gas divariasi dari 10685,31 ppm (2 ml) sampai dengan 106853,12 ppm (20 ml) dengan interval 10685,31 ppm.

Sensitivitas serapan gas lapisan tipis SnO₂ terhadap berbagai macam gas uji

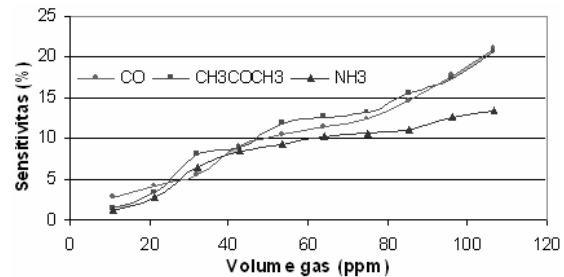
Sensitivitas lapisan tipis SnO₂ terhadap berbagai macam gas uji ditampilkan secara lengkap pada grafik seperti Gambar 9.

Gambar 9 menunjukkan bahwa lapisan SnO₂ reaktif terhadap keberadaan gas CO yang memiliki sensitivitas tertinggi 15,92% pada konsentrasi 106853,12 ppm. Sedangkan sensitivitas terendah jika

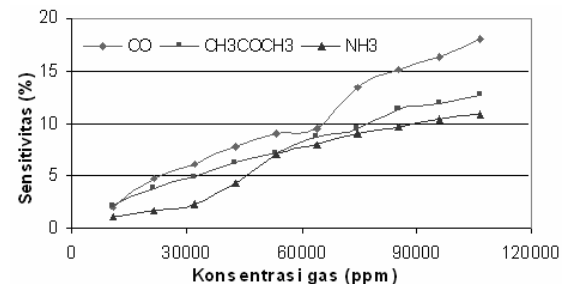
dikenai gas CH₃COCH₃ yaitu 0.33% pada konsentrasi 10685,31 ppm. Sehingga dapat dikatakan lapisan SnO₂ dapat digunakan sebagai sensor yang sensitif terhadap gas CO, tetapi kurang sensitif terhadap gas CH₃COCH₃.

Sensitivitas Serapan Gas Lapisan Tipis SnO₂:In terhadap Berbagai Macam Gas Uji

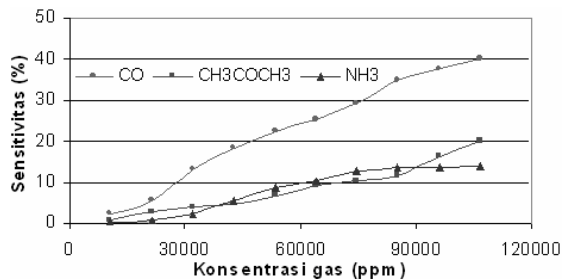
Sensitivitas lapisan tipis SnO₂:In terhadap berbagai macam gas uji dengan variasi konsentrasi indium ditampilkan secara lengkap pada grafik seperti gambar 10, gambar 11, gambar 12.



Gambar 10. Sensitivitas serapan gas lapisan tipis SnO₂ yang didoping indium 0,0370 g.



Gambar 11. Sensitivitas serapan gas lapisan tipis SnO₂ yang didoping indium 0,0485 g.



Gambar 12. Sensitivitas serapan gas lapisan tipis SnO₂ yang didoping indium 0,0702 g.

Gambar 10, gambar 11, gambar 12 memperlihatkan bahwa variasi berat indium pada lapisan tipis, akan menghasilkan sensitivitas yang berbeda-beda jika lapisan tipis tersebut dikenai gas. Pada doping indium 0,0370 g (Gambar 10) lapisan SnO₂:In memiliki sensitivitas tertinggi 21,00% pada konsentrasi 106853,12 ppm jika dikenai gas CO dan sensitivitas terendah yaitu jika dikenai gas NH₃

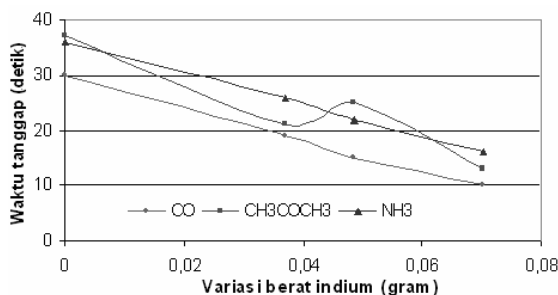
sebesar 1,22 % pada konsentrasi 10685,31 ppm. Hal ini berarti pada doping indium 0,0370 g, lapisan $\text{SnO}_2:\text{In}$ lebih reaktif jika dikenai gas CO. Hal tersebut juga terjadi pada doping indium 0,0485 g (Gambar 11) lapisan $\text{SnO}_2:\text{In}$ sangat reaktif terhadap keberadaan gas CO dengan sensitivitas tertinggi 18,04 % pada konsentrasi 106853,12 ppm dan kurang reaktif terhadap NH_3 yang memiliki sensitivitas terendah yaitu 1,07 % pada konsentrasi 10685,31 ppm. Pada doping indium 0,0702 g (Gambar 12) lapisan $\text{SnO}_2:\text{In}$ memiliki sensitivitas tertinggi 40,09% pada konsentrasi 106653,12 ppm jika dikenai gas CO dan sensitivitas terendah yaitu jika dikenai gas NH_3 sebesar 0,56 % pada konsentrasi 10685,31 ppm.

Grafik hubungan sensitivitas terhadap konsentrasi gas-gas uji yang menunjukkan adanya kenaikan sensitivitas serapan pada sensor terhadap oksigen dari gas uji yang terdeteksi. Adapun besarnya sensitivitas tertinggi setelah dan sebelum didoping indium untuk masing-masing gas uji adalah CO (40,09 menjadi 15,92)%; CH_3COCH_3 (20,66 menjadi 10,80)% dan NH_3 (14,10 menjadi 4,99)% dengan suhu operasi sensor pada rentang 90°C - 120°C .

Kenaikan sensitivitas serapan pada sensor SnO_2 disebabkan oleh kehadiran molekul indium pada permukaan SnO_2 . Akibat ion dopan, maka atom-atom (SnO_2+In) permukaan sensor menjadi lebih rapat dan homogen sehingga akan mempermudah mekanisme transport (mobilitas) pembawa muatan melewati daerah antar butir. Hal ini akan menyebabkan kenaikan konduktivitas dan daya serap terhadap oksigen dari gas uji yang dideteksi pada permukaan sensor, bila dibandingkan dengan sensor SnO_2 sebelum didoping. Sensitivitas sensor lapisan tipis SnO_2 setelah didoping indium untuk gas CO memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dibandingkan untuk gas lainnya, sehingga dapat dikembangkan lebih lanjut sebagai sensor gas CO. Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa SnO_2 cukup selektif atas deteksinya terhadap gas-gas spesifik seperti H_2 , CO, NO_2 , H_2S dan CH_4 [2].

Waktu tanggap

Pengaruh pemberian dopan dengan berat tertentu terhadap waktu tanggap gas disajikan pada gambar 13.



Gambar 13. Waktu tanggap lapisan tipis $\text{SnO}_2:\text{In}$.

Gambar 13 menunjukkan waktu tanggap SnO_2 tanpa doping (terlihat pada koordinat nol sumbu-x) lebih lama daripada $\text{SnO}_2:\text{In}$, waktu tanggap tercepat pada gas CO yaitu 30 detik dan terlama terjadi pada gas CH_3COCH_3 yaitu 37 detik. Sedangkan pemberian dopan indium sebesar 0,0370 g, waktu tanggap tercepat terjadi pada gas CO yaitu 19 detik dan terlama terjadi pada gas NH_3 yaitu 26 detik. Pemberian dopan indium sebesar 0,0485 g, waktu tanggap tercepat terjadi pada gas CO yaitu 15 detik dan terlama pada gas CH_3COCH_3 yaitu 25 detik. Pemberian dopan indium sebesar 0,0702 g waktu tanggap tercepat terjadi pada gas CO yaitu 10 detik dan waktu tanggap terlama terjadi pada gas NH_3 yaitu 16 detik.

Hasil analisis menunjukkan bahwa doping indium pada lapisan tipis SnO_2 mampu mempercepat waktu tanggap sensor gas. Waktu tanggap terbaik pada lapisan tipis SnO_2 dengan dan tanpa doping indium untuk masing-masing gas yaitu CO (10, 30) detik; CH_3COCH_3 (13, 37) detik dan NH_3 (16,36) detik pada variasi indium sebesar 0,702 g. Jadi, sensor gas $\text{SnO}_2:\text{In}$ paling sensitif/tanggap terhadap keberadaan gas CO, sehingga dapat dikatakan bahwa sensor gas $\text{SnO}_2:\text{In}$ (tipe oksida SnO_2) selektif dan mampu mendeteksi gas CO.

Bahan sensor gas memiliki kecenderungan waktu tanggap yang berbeda terhadap beberapa macam gas uji, tergantung dari sifat reversibilitas reaksi permukaan. Variabel yang menentukan tingkat reversibilitas adalah suhu permukaan semikonduktor oksida logam, konsentrasi dan macam gas yang teradsorpsi. Penelitian ini dibuat suhu permukaan dan konsentrasi gas uji tetap (10685,31 ppm), sehingga yang akan menentukan tingkat reversibilitas reaksi permukaan adalah jenis gas uji (molekul gas uji).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan seperti yang telah diuraikan di atas dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Doping indium (In) terhadap bahan SnO_2 dapat mempengaruhi karakteristik sensor gas SnO_2 . Hasil pengukuran menunjukkan bahwa doping In 0,0702 g pada lapisan SnO_2 mampu menurunkan resistansi dari 832,0 k Ω menjadi 3,9 k Ω yang berpengaruh terhadap turunnya suhu operasi dari 200°C menjadi 90°C .
2. Bahan SnO_2 yang didoping indium ($\text{SnO}_2:\text{In}$) sebesar indium 0,0702 g mempunyai sensitivitas optimum terhadap gas CO sebesar 40,09% dan kurang respon terhadap gas NH_3 sebesar 0,56% dengan konsentrasi 106853,12 ppm.
3. Doping indium 0,0702 g pada lapisan tipis SnO_2 mampu memberikan waktu tanggap terbaik untuk masing-masing gas yaitu 10 detik untuk gas CO,

15 detik untuk gas CH_3COCH_3 , dan 16 detik untuk gas NH_3 .

DAFTAR PUSTAKA

1. **OHRING, M.**, The Material Science of Thin Films, Academic Press Inc, New York, 1992.
2. **BARESEL, D., GELLERT, W., SARHOLZ, W., SCHARNER, P.**, Influence of Catalytic Activity On Semiconducting Metal Oxide Sensors, Sensor and Actuators, 6. 35-50, 1983.
3. **GASKOV, A.M., RUMYANTSEVA, M.N.**, Materials for Solid Gas Sensors. Inorganic Materials, Vol 36, No 3. 293-301, 1999.
4. **LOPES, A., FORTUNATO, E., NUNES, P., VILARINHO, P., MARTINS, R.**, Correlation between the microscopic and macroscopic characteristics of SnO_2 thin film gas sensors. International Journal of Inorganic Materials, No 3, 1349-1351, 2001.
5. **SICILLIANO, P.**, Preparation Characterisation and Application of Thin Films for Gas Sensors Prepared by Cheap Chemical Method, Sensors and Actuators, B 70, 153-164, 2000.
6. **CHOPRA K L, MAJOR S AND PANDYA D.K.**, Thin Solid Films 102 1, 1983.
7. **SUDJATMOKO**, Aplikasi Teknologi Sputtering untuk Pembuatan Sel Surya Lapisan

Tipis, Diktat Kuliah, P3TM-BATAN, Yogyakarta, 2003.

8. **STRUAT, V.R.**, Vacuum Technology, Thin Film and Sputtering, and Introduction, Academic Press Inc, Tokyo, 1983.

TANYA JAWAB

Bambang Siswanto

- Berapa resistansi SnO_2 yang ingin dicapai supaya sensitivitasnya menjadi optimum untuk semua gas?
- Berapa persentase konsentrasi indium yang bisa terdeposisi pada lapisan tipis SnO_2 ?

Suharni

- Sekitar 50-100 Ω .
- Persentase konsentrasi indium yang bisa terdeposisi pada lapisan tipis SnO_2 belum diketahui, karena belum dilakukan uji analisis unsur menggunakan EDS/EDAX.