

OPTIMASI PARAMETER PEMBUATAN LAPISAN TIPIS TiO₂ UNTUK APLIKASI SENSOR GAS

Agus Santoso, Sayono

Puslitbang Teknologi Maju – Batan

Kriswahyudi

F MIPA UNS Surakarta

ABSTRAK

OPTIMASI PARAMETER PEMBUATAN LAPISAN TIPIS TiO₂ UNTUK APLIKASI SENSOR GAS. Telah dilakukan penelitian optimasi parameter pembuatan lapisan tipis TiO₂ dengan variabel waktu deposisi dan suhu substrat. Untuk waktu deposisi variabel waktunya 1 jam s/d 3 jam dengan interval waktu 30 menit, sedangkan suhu substrat dari 250 °C s/d 300 °C dengan interval suhu 5 °C. Disamping itu juga dilakukan pengukuran resistivitas dari tiap sampel lapisan tipis TiO₂. Setelah dilakukan pengujian, maka diperoleh kondisi optimal paralatan DC sputtering untuk pembuatan lapisan TiO₂ yaitu dicapai pada suhu substrat 250 °C dan lama deposisi 2,5 jam dengan nilai resistansi sebesar 100 MΩ. XRD digunakan untuk mengetahui strukturnya lapisan TiO₂, sedangkan untuk mengetahui respon terhadap gas maka dilakukan dengan pengukur an resistivitas ketika dialiri gas. Dari hasil percobaan diperoleh bahwa resistivitas optimal 100 MΩ. Sedangkan hasil analisa XRD diperoleh puncak-puncak difraksi pada sudut (2θ): 38,09°; 81,35°; 55,27°; dengan orientasi bidang (004); (008); (211); dan struktur kristalnya anatase dan paling sensitif adalah terhadap uap acetone

Kata kunci : *Sensor gas, lapisan tipis TiO₂, XRD, resistansi, sensitivitas dan dc sputtering*

ABSTRACT

PARAMETERS OPTIMAZION OF TiO₂ THIN FILMS FABRICATION FOR GAS SENSOR APPLICATION. Research on the optimazion of deposition parameters of TiO₂ thin films fabrication has been done by varying the deposition on time and substrate temperature. For time variable, it was taken from 1-3 hours with increment 30 minutes, while for substrate temperature from 250 – 300 °C, with increment 5 °C. It was also done, the mensurement of TiO₂ thin films resistivities. It was found that the optimum condition of the process parameters was achieved at substare temperature of 250 °C and the deposition time of 2.5 hours. At this condition the resistivities was 100 MΩ. From structur crystal analysis it was found that defraction peak was occurred at the scattering angles, (2θ) : 38,09°; 81,35°; and 55,27°. At this peak, the orientation of the plane were (004), (008), and (211). From the diffraction patern it also can be concluded the crystal structur of the TiO₂ thin films was anatase. This TiO₂ thin films is very sensitive for detecting of acetone vapour.

Key word : *Gas sensor, thin film TiO₂, XRD, resistance, sensitivity and dc sputtering*

PENDAHULUAN

Lapisan tipis dewasa ini merupakan bahan yang sangat menjajikan dalam perkembangan bahan maju. Penggunaan lapisan tipis sebagai piranti optik, optoelektronik, bahan feromagnetik, super konduktor, dan bahan mikroakustik serta sel surya^[1,2]. Berbagai usaha sedang dilakukan untuk memperluas pemanfaatan lapisan tipis, diantaranya adalah sebagai sensor gas yang dipergunakan untuk mendeteksi keberadaan dan konsentrasi suatu gas di suatu tempat.

Seiring dengan meningkatnya kepedulian terhadap lingkungan, kebutuhan akan sensor gas

juga semakin meningkat. Dalam hal ini, sensor gas terutama digunakan untuk mendeteksi gas-gas pencemar seperti CO, NO_x, SO_x, dan NH₃^[3]. Sensor gas dapat digunakan juga untuk menguji kadar oksigen yang dikeluarkan oleh mesin berbahan bakar hidro karbon. Selain itu sensor dimanfaatkan oleh industri untuk mendeteksi gas-gas berbahaya yang terlibat pada proses produksi. Sensor dapat digunakan secara mandiri untuk mendeteksi suatu gas, atau dapat pula diintegrasikan menjadi hidung elektronik untuk mendeteksi berbagai macam aroma seperti yang dilakukan Abe dkk.^[4] Karena kegunaan yang sangat besar, maka penelitian tentang sensor gas semakin banyak

dilakukan. Penelitian tersebut terutama dimaksudkan untuk mencari bahan baru yang dapat dimanfaatkan sebagai sensor gas.

Beragam-bagam bahan yang dapat digunakan sebagai sensor gas, diantaranya adalah semi konduktor oksida logam^[5], polimer konduktif^[6] dan oksida logam^[7]. Pemakaian semi konduktor oksida logam sebagai sensor gas diawali oleh T. Seiyama dkk pada tahun 1962. Bahan semi-konduktor yang banyak diteliti adalah SnO₂ (oksida timah putih) dan TiO₂. Bahan semikonduktor oksida logam dapat dipakai dalam bentuk bulk dengan permukaan yang kasar. Tetapi karena berbagai keuntungan kemudian dijadikan lapisan tipis.

Dalam makalah ini dilaporkan tentang pembuatan lapisan tipis TiO₂ yang akan digunakan sebagai bahan dasar sensor gas. Hal-hal yang dilaporkan meliputi pembuatan lapisan tipis TiO₂ dengan metode *sputtering dc*, karakterisasi lapisan tipis yaitu pengujian sifat-sifat tanggap gas TiO₂ terhadap gas NH₃, CO dan CH₃COOH₃ (*acetone*) dan analisa struktur kristal.

Metode *sputtering-dc* dipilih untuk membuat lapisan tipis TiO₂ karena beberapa alasan. Pertama, metode *sputtering-dc* dapat dipakai untuk membuat lapisan tipis dari suatu bahan yang memiliki titik didih tinggi seperti TiO₂ (1853 °C). Kedua, metode *sputtering-dc* dapat menghasilkan lapisan tipis dengan sifat mekanik yang baik dan sifat elektrik yang sama dengan bahan dasarnya^[9]. Hal ini tentu saja sangat diperlukan dalam pembuatan sensor gas yang memerlukan lapisan tipis dengan sifat mekanik yang baik dan sifat elektrik yang sesuai dengan bahan dasarnya (dalam hal ini TiO₂). Ketiga, sifat lapisan tipis yang dihasilkan dapat dikontrol dengan mengatur kondisi *sputtering dc* seperti suhu substrat, jarak elektroda maupun lamanya proses^[9,10]. Dalam aplikasi sensor gas yang lebih lanjut, hal tersebut sangat diperlukan karena sifat suatu sensor gas akan sangat ditentukan oleh sifat lapisan tipisnya.

Dengan penelitian yang dilakukan ini diharapkan diperoleh bahan baru untuk sensor gas NH₃, CO dan CH₃COOH₃. Manfaat lebih lanjut penelitian ini mencakup penguasaan teknologi pembuatan lapisan tipis dan kajian tentang lapisan tipis TiO₂ yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan^[11].

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter optimum dalam pembuatan lapisan tipis TiO₂ dengan metode *sputtering dc*, sehingga diperoleh lapisan tipis TiO₂ yang baik serta melakukan karakterisasi yang meliputi pengukuran

resistansi terhadap waktu deposisi dan suhu substrat, respon terhadap berbagai macam gas, dan penentuan daerah operasi lapisan tipis TiO₂ untuk sensor gas dan analisa struktur kristal.

TATA KERJA

Sistem DC-Dioda Sputtering

Berdasarkan urutan pengerjaan, kegiatan penelitian dibagi menjadi 3 tahap:

- Penyiapan sistem *sputtering*
- Deposisi lapisan tipis TiO₂ untuk berbagai parameter
- Karakterisasi lapisan tipis TiO₂ yang meliputi pengujian sifat tanggap gas lapisan tipis TiO₂ terhadap bermacam-macam gas, dan analisa struktur kristal

Berikut ini adalah penjelasan rinci tentang cara kerja yang dilakukan beserta spesifikasi alat dan bahan yang digunakan.

Penyiapan Sistem Sputtering

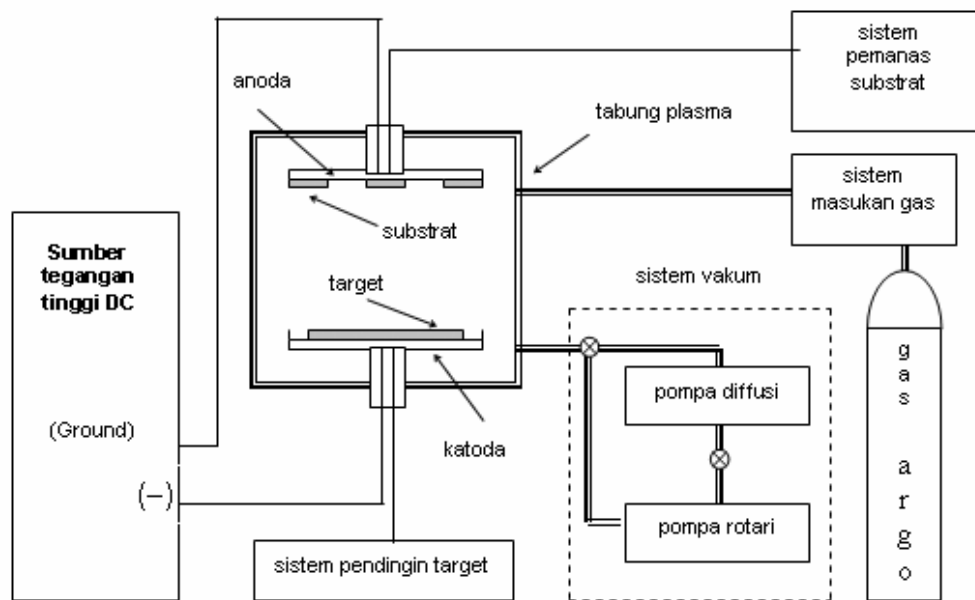
Sistem *sputtering* adalah seluruh alat dan bahan yang digunakan untuk membuat lapisan tipis dengan metoda *sputtering* yang disajikan pada Gambar 1.

Penyiapan Alat Sputtering-dc

Dalam penelitian ini digunakan alat *sputtering dc* yang skema lengkapnya ditunjukkan pada Gambar 1. Bagian-bagian utama alat ini adalah tabung plasma berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 20 cm.

Subtrat

Bahan untuk substrat adalah kaca preparat yang dipotong berukuran (10 × 20 × 2) mm. Sebelum digunakan sebagai substrat, kepingan kaca preparat tersebut dicuci secara bertahap di dalam *ultrasonic cleaner*. Pencucian bertahap tersebut dimaksudkan untuk melarutkan kotoran dan minyak yang melekat pada kaca. Pada pencucian tahap pertama digunakan larutan detergen sebagai pelarut, sedangkan pada pencucian tahap kedua digunakan alcohol 99 %. Selanjutnya kepingan kaca preparat dikeringkan dalam oven bersuhu 100 °C selama 1 jam hingga kering dan siap digunakan. Untuk menghindari pengotoran kembali, substrat disimpan dalam desikator dan pengambilannya selalu dilakukan dengan pinset.



Gambar 1. Skema alat DC Sputtering.

Deposisi Lapisan Tipis TiO₂

Peralatan sistem *sputtering* yang digunakan terdiri dari tabung reaktor plasma, pompa vakum, vakum meter dan sumber tegangan DC. Target TiO₂ dipasang pada tempat target yang berfungsi sebagai katoda di dalam reaktor plasma. Substrat kaca diletakkan pada anoda. Tabung reaktor plasma divakumkan sampai orde 10⁻⁵ torr dengan pompa vakum rotari dan difusi. Pemvakuman ini bertujuan untuk membersihkan partikel-partikel yang tidak dikehendaki. Setelah tingkat kevakuman mencapai 10⁻⁵ torr, kemudian gas argon dialirkan ke dalam tabung reaktor plasma melalui kran yang digunakan untuk mengatur tekanan gas. Tingkat kevakuman akan turun menjadi 5 × 10⁻⁴ torr. Kemudian sumber tegangan DC dihidupkan, maka gas argon akan terionisasi, ion-ion argon akan menumbuk target TiO₂. Substrat kaca akan mendapatkan percikan ion TiO₂ dengan tenaga yang cukup besar, sehingga ion TiO₂ akan menyisip pada susunan atom substrat kaca. Untuk mendapatkan lapisan tipis TiO₂ yang baik dilakukan dengan bervariasi suhu substrat dari 250 °C sampai dengan 300 °C, waktu deposisi dari 1 jam s/d 3 jam dengan selang waktu 30 menit

Analisa Struktur Kristal

Untuk menganalisa struktur kristal dari lapis TiO₂ hasil penumbuhan digunakan dengan alat

XRD. Informasi langsung yang dapat diperoleh dari pengujian ini adalah intensitas (cacah) yang disajikan pada sumbu tegak (Y). dan sudut hamburan (2θ) yang disajikan pada sumbu datar (X). Dari informasi intensitas ini dapat untuk menentukan posisi (letak) dari atom-atomnya. Sedangkan dari informasi sudut hamburan (2θ) dapat digunakan untuk menghitung jarak antar bidang, bidang-bidang hamburan serta struktur kristal beserta parameter kisinya.

Metode Karakterisasi TiO₂

Pengujian Sifat Tanggap Gas Lapisan Tipis TiO₂ Terhadap Gas

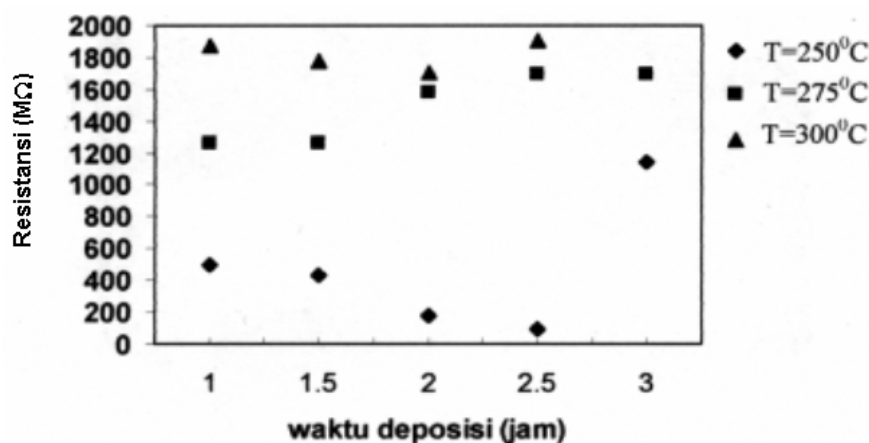
Untuk menguji lapisan tipis TiO₂ digunakan voltmeter dan ampermeter (V-I). Alat ini dapat digunakan untuk menguji sifat tanggap gas lapisan tipis TiO₂. Untuk mengukur resistansi lapisan tipis TiO₂ digunakan metode V - I, dengan nilai resistansi (R) didefinisikan sebagai nisbah antara tegangan dengan arus yang melewati lapisan tipis. Metode V-I dipilih untuk mencapai ketelitian pengukuran R yang baik.

HASIL DAN PEMBAHAN

Pendeposisian lapisan tipis TiO_2 yang diperoleh dengan metode *DC sputtering* merupakan hasil pemanfaatan energi ion argon yang mengalami proses ionisasi oleh beda potensial yang tinggi. Target TiO_2 yang terpasang pada elektroda negatif ditumbuk oleh ion-ion argon sehingga atom-atom permukaannya terlepas dan sebagian akan menuju substrat. Pada proses ini atom-atom yang mempunyai energi cukup akan berdifusi pada permukaan substrat, kemudian dengan proses kimia ataupun fisika akan berinteraksi baik antar atom-atom TiO_2 ataupun atom-atom TiO_2 dengan atom-atom substrat. Pemanasan pada substrat akan mempermudah interaksi-interaksi molekul TiO_2 pada permukaan substrat karena akan memperlebar jarak antar atom substrat sehingga atom-atom TiO_2 yang terdeposit akan lebih mudah masuk ke dalam permukaan substrat. Bila terjadi peningkatan temperatur, maka akan terjadi peningkatan difusi atom, sehingga atom Ti dapat lebih efektif berikatan dengan atom dengan atom oksigen untuk membuat kualitas kristal lebih baik.

Pada pendeposisian lapisan tipis TiO_2 ini variasi parameter adalah waktu deposisi dan suhu, sedangkan parameter yang lain seperti tekanan operasi, jarak antar elektroda dan tegangan dibuat konstan. Variasi waktu deposisinya antara lain 1 jam; 1,5 jam; 2,5 jam dan 3 jam. Sedang suhu operasinya 250 °C, 275 °C dan 300 °C.

Untuk mengetahui sifat listrik tipis yang dibuat dilakukan pengukuran resistansi dengan menggunakan metode probe 4 titik. Hasil pengukuran resistansi adalah sebagai berikut pada suhu 300 °C, waktu deposisi 1 jam; 1,5 jam; 2 jam; 2,5 jam berturut-turut resistansinya 1870 M Ω ; 1780 M Ω ; 1700 M Ω ; 1900 M Ω . Untuk suhu 275 °C, waktu deposisi 1 jam; 1,5 jam; 2 jam; 2,5 jam dan 3 jam berturut-turut resistansinya 1264 M Ω ; 1263 M Ω ; 1580 M Ω ; 1692 M Ω dan 1690 M Ω . Sedangkan pada suhu 250 °C, waktu deposisi 1 jam; 1,5 jam; 2 jam; 2,5 jam dan 3 jam berturut-turut resistansinya 502 M Ω ; 438 M Ω ; 182 M Ω 100 M Ω dan 1140 M Ω . Hubungan antara resistansi dengan waktu deposisi ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik hubungan antara resistansi TiO_2 terhadap waktu deposisi untuk suhu substrat 250 °C, 275 °C dan 300 °C.

Dari Gambar 2 terlihat bahwa pada suhu 250 °C, waktu deposisi 2,5 jam mempunyai resistansi yang terendah yaitu 100 M Ω . Sedangkan bahan semikonduktor mempunyai resistansi antara $10^3 \Omega$ sampai $10^8 \Omega$. Jadi pada suhu 250 °C, waktu deposisi 2,5 jam diperoleh lapisan tipis TiO_2 yang dihasilkan tergolong ke dalam jenis bahan semikonduktor. Pada suhu operasi 250 °C, waktu deposisi 2,5 jam sampel hasil *dc sputtering* mempunyai resistansi di bawah $10^9 \Omega$ dan

cenderung mengalami penurunan sampai waktu deposisi 3 jam.

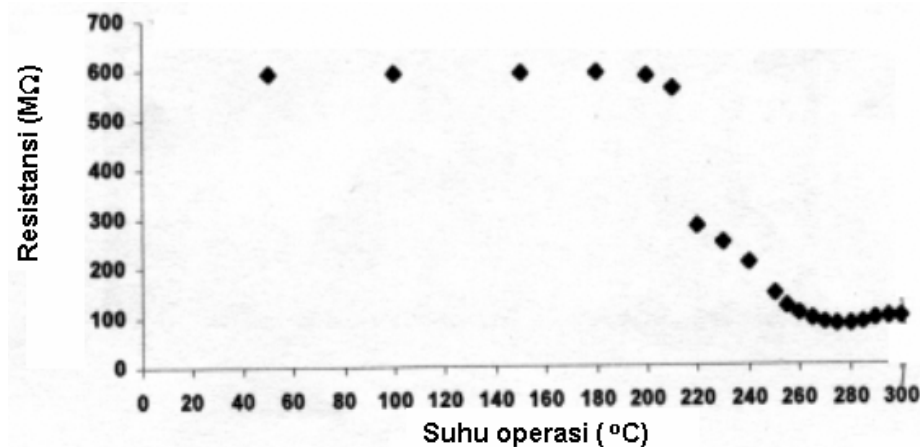
Hal ini dapat dijelaskan melalui teori pembentukan lapisan tipis. Kualitas dari lapisan tipis ditentukan oleh struktur lapisan yang ditumbuhkan. Untuk memperoleh lapisan tipis harus melewati beberapa tahap yaitu tahap nukleasi yaitu meliputi pembentukan formasi stabil, absorpsi kimia dan pembentukan inti kritis, tahap difusi permukaan yang mengontrol pertumbuhan inti dimensi tiga, tahap pembentukan struktur jaringan dan tahap

pengisian seluruh permukaan untuk membentuk lapisan kontinu.

Resistansi lapisan tipis merupakan kontribusi dari resistansi daerah inti (*bulk*) dan daerah antar butir. Dimana resistansi daerah inti lebih kecil dari pada resistansi daerah antar butir. Pada waktu deposisi 1 jam sampai dengan 2,5 jam terjadi pertumbuhan inti kritis semakin besar sehingga memberikan sumbangan pada penurunan nilai resistansi. Menurut Ohring (1992) bila proses deposisi yang dilakukan secara terus-menerus dan melampaui kondisi jenuh, maka pertumbuhan lapisan tipis akan disertai dengan pembentukan kekosongan (*vacancy*) dari pori-pori mikro. Adanya kekosongan ini akan menimbulkan penurunan kerapatan atom yang menyebabkan

resistansinya meningkat. Jadi pada waktu deposisi 3 jam sudah terjadi kondisi jenuh untuk pertumbuhan lapisan, sehingga penambahan waktu deposisi hanya akan menambah ketebalan lapisan yang terbentuk tetapi resistansinya tidak berkurang.

Untuk mengetahui hubungan resistansi terhadap suhu operasi dari bahan sensor gas TiO₂, perlu dilakukan pengukuran resistansi dengan alat pengukur yang dilengkapi dengan pemanas dan kontrol suhu. Suhu operasi lapisan tipis TiO₂ sebagai bahan sensor sangat berpengaruh terhadap sensitivitas. Lapisan tipis TiO₂ yang akan diukur diberi kontak aluminium foil agar resistansinya stabil. Pemberian kontak akan memperbesar daerah sampel yang terhubung sehingga hasil pengukuran resistansinya lebih stabil dan lebih rendah.



Gambar 3. Grafik hubungan antara resistansi terhadap suhu operasi TiO₂ dengan parameter pembuatan sampel .suhu substrat 250 °C dan waktu deposisi 2,5 jam.

Dari Gambar 3 terlihat bahwa semakin naik suhu maka resistansinya cenderung turun dan mulai stabil pada suhu mulai 265 °C. Pada 265 °C pengaruh penambahan suhu sudah tidak berpengaruh maka pada kondisi itu dapat dikatakan sebagai suhu operasi lapisan tipis TiO₂ untuk bahan dasar sensor gas. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa suhu operasi lapisan tipis TiO₂ sebagai bahan dasar sensor gas adalah di atas 265 °C.

Permukaan semi konduktor oksida saat berada pada kondisi lingkungan udara, akan terlapsi oleh suatu lapisan akibat penyerapan oksigen melalui proses adsorpsi fisika. Kemudian akan diikuti adsorpsi kimia dengan menangkap elektron dari daerah sekitar permukaan semikonduktor, sehingga terbentuk lapisan deplesi. Lapisan deplesi

ini mempunyai konsentrasi elektron permukaan lebih rendah dari pada di dalam bulk, sehingga terjadi perubahan pada sifat listrik (resistansi) bahan.

Analisa Struktur Kristal TiO₂

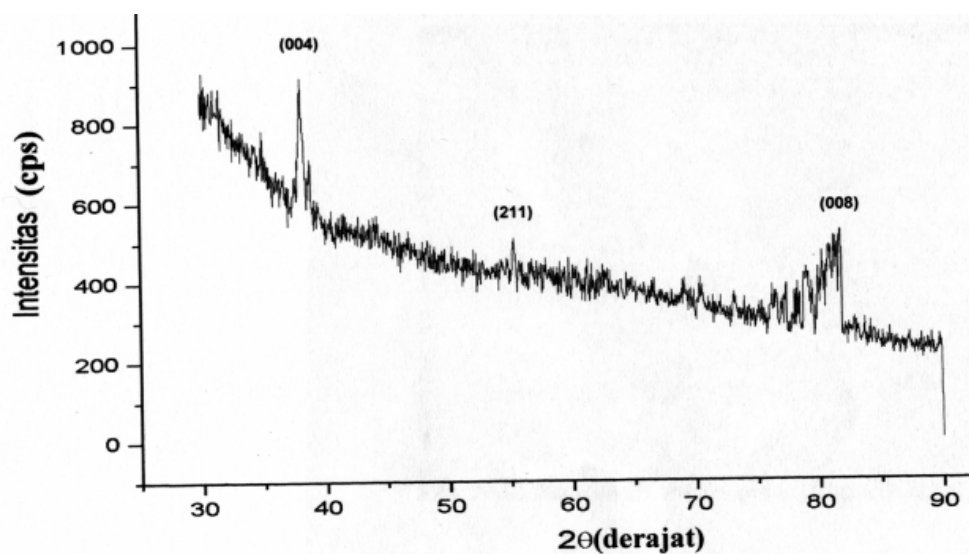
Penentuan stuktur kristal lapisan tipis TiO₂ dilakukan menggunakan alat difraksi sinar X (XRD). Prinsip kerja XRD berdasarkan pada difraksi sinar-x yang merupakan radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang $\lambda = 0,1$ nm. Apabila substrat lapisan tipis ditembak dengan sinar-x, maka sinar-x tersebut sebagian akan diserap oleh substrat dan sebagian lagi akan dihamburkan, sehingga intensitas sinar yang ditransmisikan akan lebih rendah dari pada sinar yang datang ke arah substrat tersebut. Berkas difraksi terjadi jika ada

berkas sinar yang saling menguatkan. Setiap unsur memiliki karakteristik berkas difraksi yang berbeda, sehingga berkas difraksi tergantung pada bentuk kisi dari unsur yang terkena tembakan sinar-X.

Hasil karakterisasi XRD untuk sampel TiO_2 dengan waktu deposisi 2,5 jam suhu 250°C dapat dilihat pada Gambar 4. Pada sumbu-Y menyatakan intensitas yang tercatat dalam cacah per sekon. Intensitas menyatakan banyaknya hamburan yang masuk ke *counter* detektor yang dicacah tiap detik. Sumbu-X menyatakan sudut hamburan 2θ yang merupakan sudut pergerakan detektor. Pada Gambar 4 muncul puncak-puncak sehingga dapat disimpulkan terjadi bahwa lapisan tipis yang terbentuk berstruktur polikristal. Pendinginan yang relatif lama setelah penumbuhan akan menghasilkan

bahan berstruktur kristal. Kristal merupakan susunan atom, ion, atau molekul yang teratur dan berulang dalam sistem tiga dimensi.

Berdasarkan Gambar 4 puncak-puncak difraksi terbentuk pada sudut 2θ , $38,09^\circ$; $81,35^\circ$; $55,27^\circ$; dengan orientasi bidang (004); (008); (211); dan struktur kristalnya *anatase*. Puncak-puncak yang muncul pada karakteristik XRD mempunyai intensitas yang berbeda-beda. Tingkat intensitas ini berkaitan dengan kesempurnaan kristal yang terbentuk pada lapisan. Semakin sempurna kristal yang terbentuk maka intensitasnya semakin tinggi, karena difraksi panjang gelombang dengan fase berlawanan semakin berkurang. Menurut Wasa (1992) pada suhu substrat 250°C kristal TiO_2 akan tumbuh dengan struktur *anatase*.



Gambar 4. Spektrum XRD lapisan tipis TiO_2 untuk sampel dengan suhu substrat 250°C dan waktu deposisi 2, 5 jam.

Pada Gambar 4 terlihat ada tiga puncak yang berstruktur anatase dengan intensitas yang berbeda. Intensitas tertinggi diperoleh pada sudut 2θ sebesar $38,09^\circ$ (004). Hal ini menunjukkan bahwa pembentukan struktur kristal dengan orientasi bidang (004) lebih sempurna dari pada orientasi bidang (008) dan (211).

Hasil ini sesuai bila dibandingkan dengan dengan hasil penelitian Wang, dkk 1998, yang menyatakan bahwa pada suhu sekitar 250°C akan tumbuh dengan struktur anatase. Walaupun demikian, dari acuan diperoleh hasil bahwa sudut Bragg yang diperoleh sedikit menyimpang dari

keadaan yang sebenarnya yaitu untuk struktur dengan orientasi (004) mempunyai sudut hamburan 45° . Penyimpangan atau pergeseran sudut hamburan tersebut dapat diterangkan sebagai berikut, apabila sinar-X mengenai permukaan kristal dengan sudut θ , maka kristal akan mendifraksikan sinar X yang panjang gelombangnya sesuai dengan jarak antar kisi. Pola interferensi hasil difraksi akan saling menguatkan apabila panjang gelombang yang terdifraksi adalah sefase^[7]. Pernyataan ini menunjukkan bahwa sudut difraksi ditentukan oleh tetapan kisi, sedangkan telah diketahui bahwa tetapan kisi yang ideal ditentukan oleh kesem-

purnaan kristal yang terbentuk selama proses rekristalisasi. Ini menunjukkan bahwa pada suhu substrat sekitar 250 °C proses rekristalisasi pembentukan struktur anatase adalah belum sempurna.

Ketidaktempurnaan rekristalisasi ini disebabkan oleh mobilitas dan suhu substrat yang melebihi yang diperlukan dalam proses rekristalisasi dan penyesuaian swaorientasi dalam pertumbuhan kristal, peningkatan suhu substrat diatas suhu optimal ini menyebabkan rapat *defect* pada struktur kristal yang terbentuk akan meningkat. Cacat (*defect*) pada proses kristalisasi semikonduktor oksida logam ini dapat berbentuk cacat titik secara interstisi dan pengosongan komponen logam ataupun oksidan. Cacat titik ini menyebabkan terjadinya penyimpangan lokal rumus kimia senyawa yang dapat berbentuk TiO ataupun TiO₂.

Pada variasi parameter proses deposisi, kesempurnaan struktur kristal yang terbentuk dapat diamati dengan perubahan tinggi puncak pada sudut Bragg yang sama (orientasi kristal yang sama). Tinggi puncak pada sudut Bragg yang sama berkaitan dengan kesempurnaan struktur kristal lapisan tipis, dimana semakin tinggi intensitas berarti struktur kristal semakin sempurna. Ini dikarenakan semakin sempurna struktur kristal maka difraksi panjang gelombang dengan fase berallawanan juga semakin berkurang.

Pengaruh Suhu Operasi Terhadap Sensitivitas Serapan Gas.

Gejala sensitivitas serapan gas adalah perubahan tahanan (resistansi) akibat terserapnya gas pada permukaan elemen sensitif. Nilai nisbah sensitivitas serapan gas didefinisikan sebagai perbandingan antara besar perubahan tahanan elemen sensitif ketika diberi suatu gas, dengan resistansi elemen sensitif pada udara normal. Untuk gas reduksi sensitivitas semikonduktor tipe-n diberikan oleh persamaan^[1]

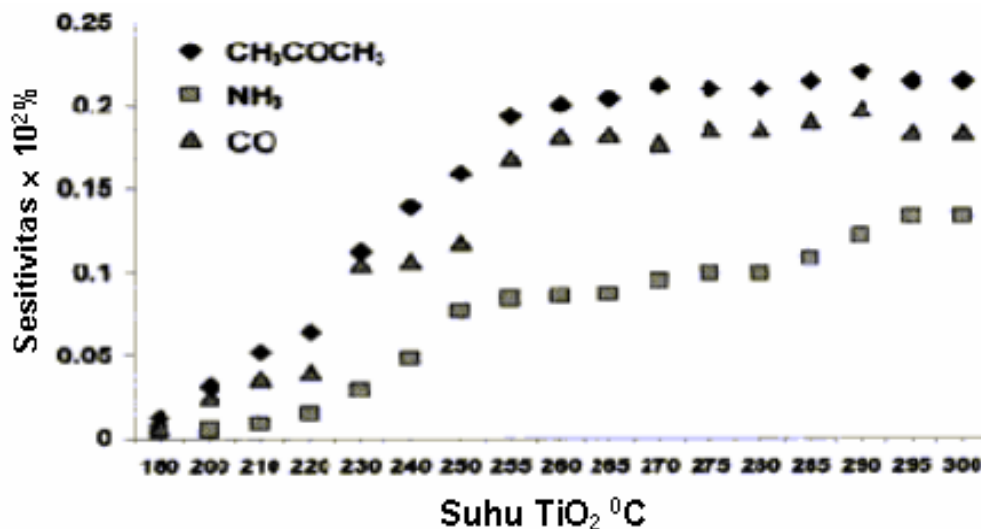
$$\frac{\Delta R_g}{R_n} = \frac{R_g - R_n}{R_n} \quad (1)$$

dan untuk gas oksidator sensitivitas diberikan oleh persamaan

$$\frac{\Delta R_g}{R_n} = \frac{R_n - R_g}{R_n} \quad (2)$$

R_g dan R_n terukur pada kondisi isothermal, dengan R_g adalah resistansi ketika udara diberi gas, R_n adalah resistansi pada udara normal. Timbulnya gejala sensitivitas serapan gas dalam bahan semikonduktor oksida dikaitkan dengan perubahan konduktivitas akibat adanya serapan gas pada permukaan semikonduktor.

Dari pengukuran perubahan resistansi serapan bahan lapisan tipis TiO₂ terhadap kenaikan suhu sampel TiO₂ diperoleh hubungan ketergantungan sensitivitas serapan gas bahan lapisan tipis TiO₂ terhadap suhu operasi substrat seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan sensitivitas terhadap suhu operasi pada sampel TiO₂ dengan parameter pembuatan suhu substrat 250 °C dan waktu deposisi 2,5 jam untuk gas CH₃COCH₃, NH₃, dan CO.

Menurut Gas'kov (2000) kondisi permukaan (interaksi antara gas uji dan permukaan semikonduktor sensor gas) akan memberikan pengaruh yang signifikan jika $2L \geq D$. Dimana L adalah panjang depletion layer dan D adalah ukuran butir. Jadi dari hasil percobaan dapat disimpulkan bahwa pada suhu $\pm 180^\circ\text{C}$ telah dipenuhi kondisi $2L \geq D$. Karena ukuran butir adalah relatif tetap untuk peningkatan suhu dalam orde suhu operasi, maka peningkatan perbandingan panjang *depletion layer* terhadap ukuran butir diakibatkan oleh meningkatnya panjang *depletion layer*. Pada suhu kamar panjang *depletion layer* relatif pendek karena atom oksigen yang teradsorpsi hanya menarik elektron dari permukaan bahan. Menurut Mrowec (1980), dengan peningkatan suhu maka atom oksigen yang teradsorpsi dapat menarik elektron dari daerah yang lebih dalam dengan ionisasi ganda (O₂), bahkan pada kesetimbangan termodinamik (antara permukaan dan *bulk*) penarikan dapat mencapai elektron-elektron *bulk*, ini menyebabkan panjang *depletion layer* akan meningkat dan memenuhi $2L \geq D$.

Dari Gambar 5 di atas dapat disimpulkan bahwa kenaikan sensitivitas dengan meningkatnya suhu substrat oleh penyerapan gas reduktor disebabkan oleh peningkatan perubahan jumlah rapat pembawa muatan permukaan dan peningkatan mobilitas pada *bulk* dan batas butir. Walaupun demikian sensitivitas tidak dapat dinaikan terus menerus dengan peningkatan suhu substrat, ini karena menurut Lalauze (1992) dan Gas'kov (2000) peningkatan suhu akan mengurangi gas uji yang teradsorpsi pada permukaan semikonduktor oksida.

Gambar 5 juga menunjukkan bahwa gas aseton (CH₃COCH₃) memiliki sensitivitas tertinggi sejalan dengan kenaikan suhu substrat. Hal ini diduga karena gas CH₃COCH₃ mempunyai kandungan O yang cukup tinggi, sehingga dapat melepas banyak atom O pada temperatur yang tinggi dan diserap oleh bahan semikonduktor oksida. Sensitivitas juga ditentukan oleh sifat karakteristik tanggap gas bahan lapisan tipis TiO₂ terhadap gas-gas yang diuji, yang ternyata setiap gas mempunyai kereaktifan berbeda terhadap semikonduktor oksida logam tertentu.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Kondisi optimal pembuatan bahan sensor gas TiO₂ diperoleh pada tegangan 2,5 kV waktu deposisi 150 menit dan suhu substrat 250 °C dengan nilai resistivitas 100 MΩ.
2. Lapisan tipis TiO₂ yang terbentuk mempunyai struktur anatase dengan orientasi bidang (004), (008) dan (211) dengan intensitas tertinggi pada bidang (004).
3. Lapisan tipis TiO₂ mempunyai respon paling sensitif terhadap gas aseton (CH₃COCH₃).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan kepada Sdr. Al. Sunarto, Sumarmo, dan Mujiono dari staf bidang akselerator, serta Kriswahyudi dari FMIPA UNS yang telah banyak membantu penelitian ini, sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan lancar dan berhasil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ECKERTOVÁ, L., *Physics of Thin Films*, 2nd ed., Plenum Press, New York, 1992.
- [2] OHRING, M., *The Material Science of Thin Films*, Academic Press Inc., New York, 1986.
- [3] MOSELEY, P.T., *Materials Selection for Semiconductor Gas Sensors*, Sensors and Actuators B, 6, 149-156, 1992.
- [4] ABE, H., YOSHIMURA, T., KANAYA, S., TAKAHASHI, Y., MIYASHITA, Y., SASAKI, S., *Automated Odor-sensing System Based on Plural Semiconductor Gas Sensors and Computerized Pattern Recognition Techniques*, Anal. Chim. Acta., 194, 1-9, 1987.
- [5] GAS' KOV, RUMYANTSEVA, MN., *Material for Solid State Gas Sensors*, *Inorganic Materials*, Vol 36, No. 3, 293-301, 2000.
- [6] HIRATA, M., SUN, L., *Characteristics of an Organic Semiconductor Polyaniline Film as*

- Sensor for NH₃ Gas*, Sensors and Actuators A, 40, 159-163.
- [7] KONUMA, M., *Film Deposition by Plasma Technique*, Springer-Verlag, New York, 1992.
- [8] WANG, H., WANG, T., XU, P., *Effects of Substrate Temperature on the Microstructure and Photocatalytic Reactivity of TiO₂ Films*, J. Mater. Sci., Material in Electronics, 9, 327-330, 1998.
- [9] ZHI, P.X., XU, D.F., YONG, H., *Accelerated Sintering and Phase Transformation of TiO₂ in Microwave Radiation*, J. Mater. Res., Vol 13, No. 12, 3417-3422, 1998.
- [10] LALAUZE, R., RIJOLAT, C., VINCENT, S., BRUNO, L., *High Sensitivity Materials for Gas Detection*, Sensors and Actuators, B, 237-243, 1992.
- [11] MROWEC, S., *Defects and Diffusion in Solid State*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York, 1992.
- [12] T. Seiyama, *Chemical Sensors Technology*, Anal, 34, 1502, 1962.
-
- ## TANYA JAWAB
- Rany Saptaaji**
– Mengapa suhu operasi sensor gas dipilih mulai suhu 265 °C.
- Agus Santoso**
– Suhu operasi dipilih pada suhu 265 °C karena mulai suhu tersebut nilai resistansi sudah stabil, tidak terpengaruh oleh perubahan suhu sehingga mulai suhu tersebut perubahan resistansi hanya disebabkan oleh adanya gas.