

FG-FET Berbasis Film Ag₂O Untuk Pendeteksian H₂S

¹W. Widanarto, ²Bilalodin & ³R. A. Saputro

^{1,2,3} Program Studi Fisika, FST Unsoed Jl. dr. Soeparno No. 61 Purwokerto

¹wahyu.widanarto@unsoed.ac.id

²bilalodin@unsoed.ac.id

Abstrak

Film Ag₂O telah ditumbuhkan pada top electrode Si/Ti/Pt dengan evaporasi termal. Proses evaporasi dilakukan pada tekanan 2×10^{-2} mbar dalam atmosfer oksigen sintesis. SEM digunakan untuk menganalisa struktur permukaan film. Top electrode dilekatkan pada chip FG-FET untuk membentuk sebuah sensor gas yang sensitif terhadap H₂S. Karakterisasi yang meliputi uji temperatur, konsentrasi, kelembaban dan selektivitas dilakukan untuk mengetahui kehandalan sensor. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa FG-FET berbasis film Ag₂O dapat mendeteksi H₂S pada konsentrasi rendah dengan temperatur operasi optimum 95 °C dalam keadaan kering maupun lembab. Penambahan kluster Fe pada permukaan film Ag₂O dapat meningkatkan unjuk kerja sensor yang ditandai dengan peningkatan sinyal keluaran sensor.

Kata kunci: FG-FET, Film Ag₂O, Fe, Fungsi Kerja, H₂S.

Abstract

Ag₂O film has been grown on the top electrode Si/Ti/Pt by thermal evaporation process. This evaporation process was processed at 2×10^{-2} mbar atmospheric pressure using synthetic oxygen. SEM has been used to analyze the structure of film surface. Top electrode was attached to FG-FET chip with the aim of forming a gas sensor which is sensitive to H₂S. Characterization test, including temperature, concentration, humidity and selectivity was conducted to determine the reliability of the sensor. The results showed that FG-FET-based Ag₂O film is able to detect H₂S at low concentrations with an optimum operating temperature 95 °C in dry or humid conditions. The addition of Fe clusters on the Ag₂O film surface can enhance performance of the sensor, which is noted by an increase in the output signal.

Keywords: FG-FET, Ag₂O film, Fe, performance, H₂S.

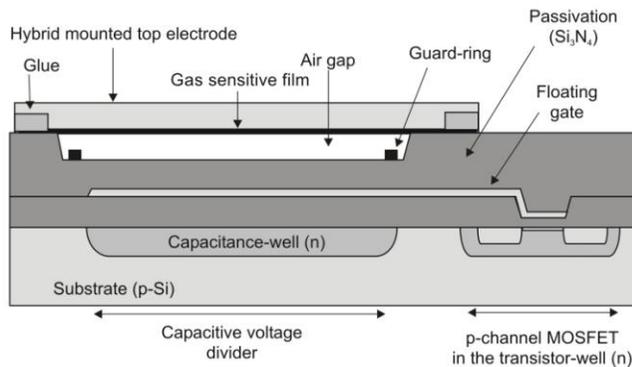
1 Pengantar

Pencemaran lingkungan merupakan masalah yang serius dalam kehidupan masyarakat saat ini. Hal tersebut muncul sebagai akibat perkembangan dunia industri yang sangat pesat dan gas buang kendaraan bermotor. Industri dan kendaraan bermotor mengeluarkan gas-gas berbahaya seperti timbal/timah hitam (Pb), **suspended particulate matter** (SPM), oksida nitrogen (NO_x), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), oksida fotokimia (O_x), hidrosulfur (H₂S), dan oksida sulfur (SO₂). Adanya produksi gas polutan dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap lingkungan.

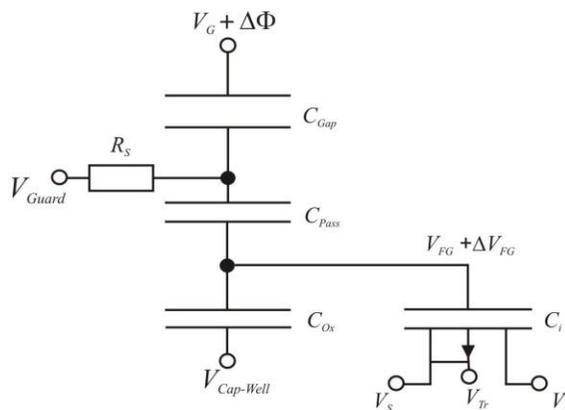
Berbagai macam material sensor telah dikembangkan dan direalisasikan untuk mendeteksi gas-gas polutan. Sebagian besar dari pengembangan sensor tersebut berbasis pada perubahan konduktivitas material akibat interaksi permukaan material dengan molekul-molekul gas-gas polutan [1][2][3][4], akan tetapi tingginya suhu operasi sensor (> 250 °C) untuk mencapai reaksi antara molekul gas polutan dengan permukaan lapisan tipis, menyebabkan pengembangan sensor sulit diterapkan pada *portable system* akibat keterbatasan penyediaan daya. Oleh karena itu, sistem pendeteksian gas-gas polutan akan dibuat dengan menggunakan Floating-Gate Fields Effect Transistor (FG-FET). Keunggulan dari sensor berbasis FG-FET yaitu sensor dapat dioperasikan pada temperatur kamar [5]

dan sangat sensitif terhadap perubahan fungsi kerja $\Delta\Phi$ dari material film sensitif between proses interaksi yang terjadi antara gas dengan film di dalam FET serta memberikan kelebihan dalam penerapan sensor pada *portable system*.

Berdasarkan pada penelitian studi awal pengukuran fungsi kerja film Ag_2O dengan Kelvin Probe diperoleh bahwa fungsi kerja film Ag_2O berubah ketika film berinteraksi dengan gas H_2S [6]. Oleh karena itu, film ini akan digunakan sebagai film sensitif dalam sistem sensor FG-FET. FG-FET merupakan suatu sistem sensor gas yang berbasis pada pengukuran perubahan fungsi kerja film sensitif akibat berinteraksi dengan gas uji. Disain serbaguna dari sebuah FG-FET dengan film sensitif pada bagian elektroda atas (*Top electrode*) ditunjukkan dalam Gambar 1 [7]. Perubahan fungsi kerja akibat absorpsi fisika atau kimia pada film sensitive gas dapat menghasilkan sebuah beda potensial yang reversibel. Beda potensial ini menyebabkan perubahan tegangan *source-Drain* dari sebuah *p-channel* MOSFET konvensional melalui sebuah pembagi tegangan kapasitif. Rangkaian elektronik ekivalen dari FG-FET diberikan dalam Gambar 2.



Gambar 1 Skematik FG-FET



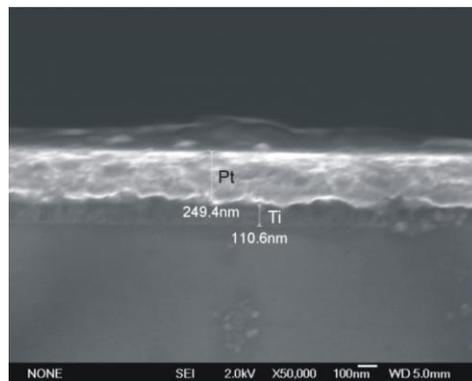
Gambar 2 Rangkaian elektronik ekivalen FG-FET

2 Hasil dan Diskusi

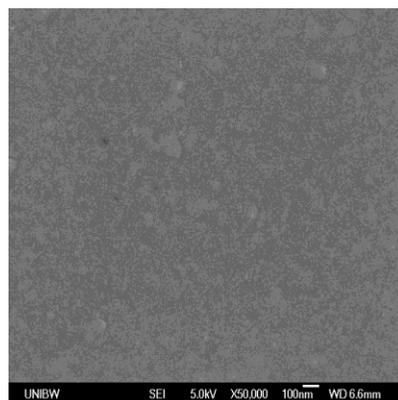
2.1 Penumbuhan Film Ag₂O

Penumbuhan film oksida perak (Ag₂O) dilakukan setelah *top electrode* yang terbuat dari Silikon (Si) dilapisi dengan film Titanium/ Platinum (Ti/Pt). Tujuan pelapisan ini adalah untuk memperkuat daya rekat film Ag₂O pada *top electrode*. Film Ti/Pt ditumbuhkan pada *top electrode* dengan menggunakan *DC Sputtering* masing-masing selama 5 menit dan 10 menit dengan daya 350 watt dan 500 watt. SEM digunakan untuk melihat penampang lintang dan ketebalan dari film Ti/Pt. Hasil SEM dengan perbesaran 50.000 kali menunjukkan bahwa lapisan Ti dan Pt dengan ketebalan dalam kisaran nanometer terlihat dengan jelas seperti dalam Gambar 3.

Penumbuhan film Ag₂O pada *top electrode* dilakukan dengan menggunakan evaporasi thermal pada tekanan $2 \cdot 10^{-2}$ mbar dalam atmosfer oksigen. Rata-rata deposisi evaporasi dijaga konstan antara 0,5 - 1 nm/detik untuk ketebalan 200 nm. Morfologi permukaan film tipis Ag₂O hasil penumbuhan dikarakterisasi dengan SEM. Hasil SEM dengan perbesaran 50.000 kali menunjukkan bahwa permukaan Ag₂O sangat solid seperti terlihat dalam Gambar 4.



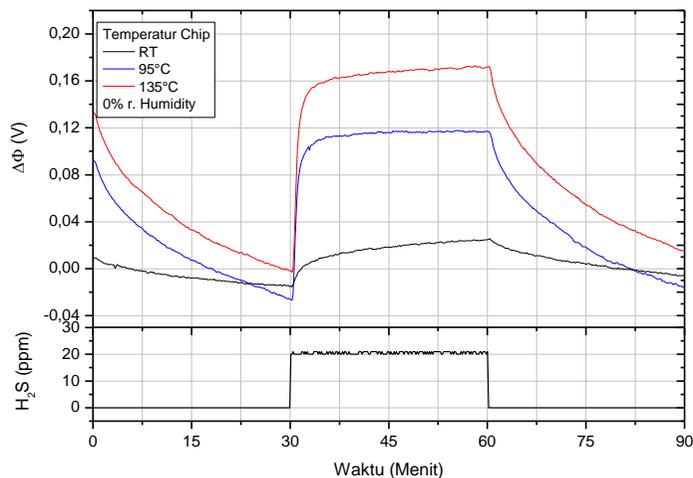
Gambar 3 Penampang melintang film Ti/Pt



Gambar 4 Foto SEM: morfologi permukaan film Ag₂O

2.2 Efek Temperatur

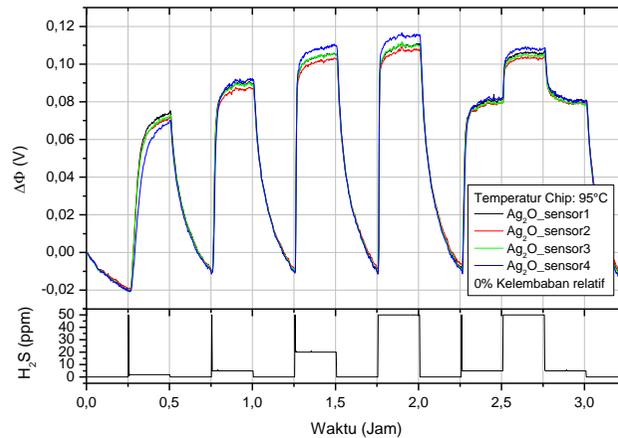
Temperatur merupakan salah satu parameter terpeting dalam operasi sebuah sensor, karena adsorpsi dan desorpsi merupakan proses-proses yang bergantung pada temperature [8]. Peningkatan temperatur dapat memperbaiki sensitivitas sensor terhadap gas uji, tapi pada sisi lain temperatur juga mempunyai efek terhadap sifat-sifat fisika dari film yang digunakan dalam sensor. Oleh karena itu pengujian efek temperatur terhadap sensor dilakukan untuk memperoleh temperatur operasi optimum. Pengujian ini dilakukan dengan mengalirkan 20 ppm H₂S selama 30 menit pada tiga variasi temperatur yaitu temperature kamar, 95 °C dan 135 °C. Gbr. 5 menunjukkan bahwa peningkatan temperatur dapat meningkatkan sensitivitas sensor terhadap H₂S. Temperatur operasi optimum sensor dicapai pada 95 °C.



Gambar 5 Efek temperatur pada sensor selama pengukuran 20 ppm H₂S

2.3 Respon Sensor Terhadap H₂S

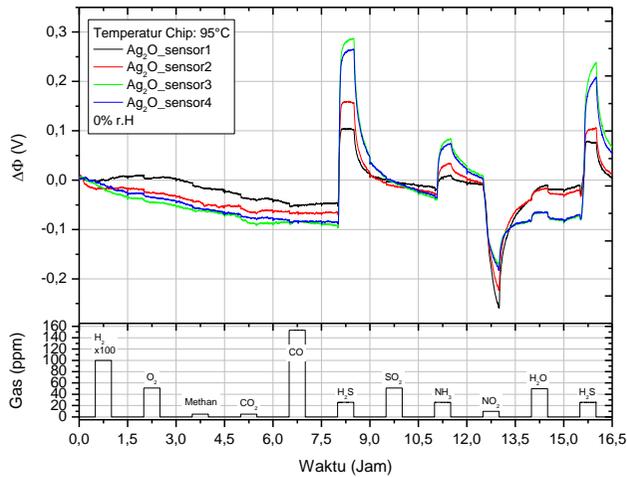
Respon sensor terhadap variasi konsentrasi H₂S diuji pada temperatur operasi 95 °C dalam kondisi kering. Dalam beberapa langkah, sensor dialiri H₂S dengan konsentrasi yang divariasikan selama 30 menit dan oksigen sintesis selama 30 menit diantara setiap langkah. Berdasarkan Gambar 6, sinyal keluaran dari 4 sensor menunjukkan pola yang sama. sinyal keluaran meningkat dengan meningkatnya konsentrasi H₂S. Sensitivitas sensor terhadap H₂S juga meningkat dengan peningkatan konsentrasi. Sensor dapat mendeteksi H₂S dengan baik dalam rentang konsentrasi dari 3 sampai 50 ppm dengan waktu respon $t_{80} \sim 10$ s. t_{80} adalah waktu yang diperlukan untuk mencapai 80% dari sinyal output maksimum. Sinyal keluaran sensor yang reversibel juga dapat diamati selama pengujian. Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara film dan H₂S tidak menyebabkan perubahan pada film baik secara fisik maupun kimiawi.



Gambar 6 Respon sensor terhadap H₂S pada temperatur 95 °C dalam kondisi kering

2.4 Selektivitas Sensor

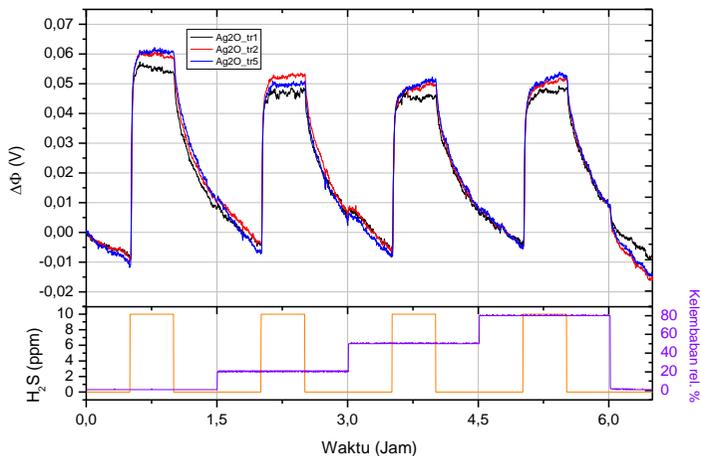
Selektivitas sensor merupakan salah satu parameter penting dalam pembuatan sensor gas. Selektivitas menunjukkan kemampuan sensor dalam mendeteksi gas uji tertentu dalam hal ini hanya H₂S. Karakterisasi selektivitas sensor dilakukan dengan mengalirkan 10 macam gas uji pada konsentrasi yang sesuai dengan *maximum allowed concentration*. Gas-gas dialirkan secara seri ke sensor pada temperatur 95 °C. Setiap gas dialirkan selama 30 menit dan diikuti dengan pembersihan chamber dengan oksigen sintetik selama 30 menit. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui stabilitas sensor terhadap gas polutan tertentu dan menyakinkan tidak terjadi pengotoran oleh gas sebelumnya. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa sensor memberikan respon ketika terjadi interaksi dengan H₂S, NH₃, dan NO₂ seperti terlihat dalam Gambar 7. Perubahan sinyal keluaran yang positif, reversibel dan signifikan dari 4 sensor hanya terjadi ketika sensor berinteraksi dengan H₂S.



Gambar 7 Selektivitas sensor pada 95 °C dalam kondisi kering

2.5 Efek Kelembaban

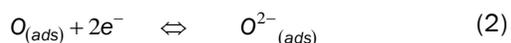
Investigasi efek kelembaban dilakukan dengan mengalirkan 10 ppm H₂S ke sensor pada temperatur 95 °C dengan variasi kelembaban relatif mulai dari 0 sampai 80%. Gambar 8 menunjukkan bahwa sinyal keluaran sensor menurun dengan meningkatnya kelembaban relatif dan tidak stabil. Hal ini disebabkan karena medan listrik yang dihasilkan oleh dipol-dipol molekul air mengurangi medan listrik yang dihasilkan oleh beda potensial luar. Namun demikian sensor masih dapat digunakan untuk mendeteksi H₂S dalam kondisi lembab.



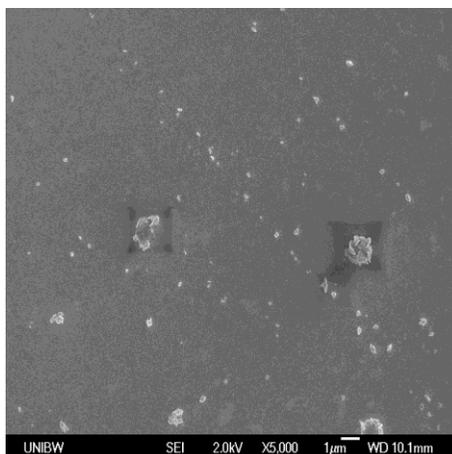
Gambar 8 Efek kelembaban pada sensor selama pengukuran 10 ppm H₂S pada temperatur 95 °C

2.6 Efek Penambahan Klaster Besi (Fe)

Penambahan klaster Fe pada permukaan film Ag_2O ditujukan untuk meningkatkan jumlah oksigen pada permukaan film karena Fe merupakan salah satu material yang mudah mengikat ion oksigen bebas. Oksigen-oksigen pada permukaan Ag_2O (semikonduktor tipe n) dapat menciptakan keadaan permukaan akseptor karena oksigen-oksigen tersebut mengambil elektron-elektron pada pita konduksi. Hal ini menyebabkan pelebaran lapisan deplesi dalam semikonduktor dekat permukaan sehingga fungsi kerja film meningkat [8]. Proses serapan oksigen dan penangkapan elektron dapat ditulis sebagai berikut [9].

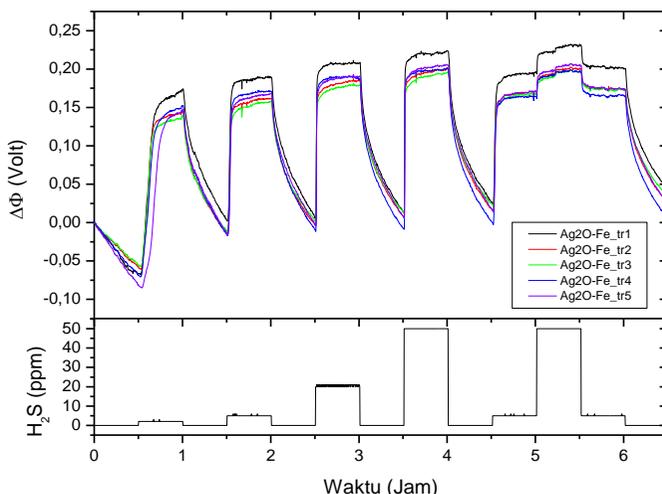


Penambahan klaster Fe pada permukaan film Ag_2O dilakukan dengan menggunakan evaporasi termal. Nampak pada Gambar 9 klaster-klaster Fe tersebar dipermukaan film dengan bentuk, ukuran dan jarak antar klaster yang berbeda-beda. Tentunya hal ini akan lebih menarik jika klaster-klaster tersebut dapat dikontrol baik itu ukuran, bentuk maupun jarak antar klaster.



Gambar 9 Foto SEM: Klaster Fe pada permukaan Ag_2O

Gambar 10 menunjukkan bahwa sinyal keluaran sensor dengan penambahan klaster Fe lebih baik dibandingkan sinyal keluaran sensor tanpa klaster Fe. Sinyal keluaran lebih tinggi 8 mV untuk pengukuran 20 ppm H_2S .



Gambar 10 Efek penambahan kluster Fe pada sensor selama pengukuran konsentrasi-konsentrasi H_2S pada temperatur $95^\circ C$ dalam kondisi kering

3 Kesimpulan

Berdasarkan hasil karakterisasi menunjukkan bahwa FG-FET berbasis film Ag_2O dapat digunakan untuk mendeteksi H_2S pada konsentrasi rendah dengan temperatur operasi optimum $95^\circ C$ dalam keadaan kering maupun lembab. Penambahan kluster Fe pada permukaan film Ag_2O dapat meningkatkan unjuk kerja sensor yang ditandai dengan peningkatan sinyal keluaran sensor.

4 Daftar Pustaka

- [1] G. Telipan, A thick film semiconductor NO_x detector, IEEE, 1997.
- [2] J. Y. Yun, CO-Gas sensing characteristics of Pt/ SnO_2 thin composite film, Pusan National University, Korea, 2000.
- [3] J. Tamaki, Detection of dilute nitrogen dioxide and thickness effect of tungsten oxide thin film sensors, Sensors and Actuators B 95, 111-115, 2003.
- [4] Z. Ling, The effect of relative humidity on the NO_2 sensitivity of a SnO_2/WO_3 heterojunction gas sensor, Sensors and Actuators B 102, 102-106, 2004.
- [5] I. Eisele, Low power gas detection with FET sensors, Sensors and Actuators B 78, 19, 2001.
- [6] W. Widanarto, Pemanfaatan oksida logam sebagai film sensitif gas polutan pada FG-FET, laporan hibah bersaing Dikti tahun pertama, 2009.
- [7] M. Burgmair, Field effect transducers for work function gas measurements: device improvements and comparison of performance, Sensors and Actuators, B 95, 183-188, 2003
- [8] S. R. Morrison, The chemical physics of surfaces, Plenum Press, New York, 1977.
- [9] Gaskov, A.M., Rumyantseva, M.N., Materials for Solid-State Gas Sensors, Inorganic Materials, Vol.36, No.3, 239-301, 2000.