

Alat Deteksi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berstruktur Transistor Efek Medan

Sujarwata

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Semarang, Indonesia
Jl. Raya Sekaran Gunungpati-Semarang 50229

Email: sjarwot@yahoo.co.id

Abstrak

Fabrikasi alat deteksi berstruktur FET menggunakan metode vakum evaporasi (VE), sedangkan proses perencanaan dengan teknik *lithography*. Tahapan pembuatan sensor gas sebagai berikut: permulaan dilakukan pencucian substrat Si/ SiO₂ dengan *etanol* dalam *ultrasonic cleaner*, kemudian dilakukan deposisi elektroda *source* dan *drain* di atas substrat, deposisi lapisan aktif diantara *source/ drain* dan diakhiri dengan deposisi *gate*. Hasil karakterisasi I-V menunjukkan arus yang mengalir dari *drain* menuju *source* (I_{DS}) dipengaruhi oleh adanya perubahan tegangan *gate* (V_G). Tegangan V_G semakin besar maka I_{DS} yang dihasilkan semakin meningkat. Karakterisasi alat deteksi diperoleh bahwa daerah aktif untuk V_D adalah 2,79 V - 3,43 V dan arus I_D $1,49 \cdot 10^{-4}$ A - $1,49 \cdot 10^{-4}$ A. Sedangkan daerah saturasi FET pada tegangan V_D dari 3,43 V - 9 V dan ini merupakan daerah *cut off*. Pengujian kelayakan alat deteksi adalah menentukan: waktu tanggap (*response time*) dan waktu pemulihan (*recovery time*). Waktu tanggap sensor terhadap gas buang kendaraan bermotor, dan CO berturut-turut: 135 s. Sedangkan waktu pemulihan adalah 150 s.

Kata kunci: FET, film tipis, *response time*, *recovery time* dan *lithography*

PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan salah satu masalah yang sangat meresahkan bagi masyarakat. Penyumbang terbesar pencemaran udara adalah gas bauang (asap) dari kendaraan bermotor. Untuk mengetahui adanya emisi gas buang kendaraan bermotor diperlukan alat uji emisi. Alat uji gas yang ada sekarang ini biasanya bentuknya besar dan harganya mahal. Dengan adanya pencemaran udara timbul pemikiran untuk fabrikasi alat pendeteksi gas buang kendaraan bermotor yang berbasis film tipis. Penelitian ini menggunakan sensor gas berstruktur FET berbasis film tipis sebagai sensor utama dalam mengenali gas buang kendaraan bermotor. Perubahan resistansi yang terjadi pada sensor gas akan mempengaruhi besarnya arus yang mengalir. Besarnya arus yang mengalir pada sensor gas ini akan dihitung elektrometer untuk setiap waktu yang telah ditentukan. Selanjutnya data dari hasil eksperimen ini untuk menentukan waktu tanggap (*response time*) dan waktu

pemulihan (*recovery time*). Besar kecilnya *response time* dan *recovery time* menentukan sensitivitas alat pendeteksian gas buang kendaraan bermotor.

Di Indonesia, kurang lebih 70% pencemaran udara disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor mengeluarkan zat-zat berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun terhadap lingkungan, seperti suspended particulate matter (SPM), oksida nitrogen (NO_x), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan oksida fotokimia (O_x). Data untuk wilayah Jakarta menunjukkan kendaraan bermotor menyumbang 13,44% *suspended particulate matter* (SPM), 71% hidrokarbon (HC), 34,73% oksida nitrogen (NO_x) dan hampir 100% karbon monoksida (CO) ke udara. Sumber utama debu berasal dari pembakaran sampah rumah tangga, dimana mencakup 41% dari sumber debu di Jakarta. Sektor industri merupakan sumber utama dari sulfur dioksida (www://walhi, 2004).

Phthalocyanine adalah suatu bahan yang belum banyak diteliti dan merupakan semikonduktor bahan celupan organik. Phthalocyanine stabil dengan panas secara alami dan cocok untuk deposition film tipis dengan sublimasi panas. Suatu tinjauan ulang tentang material ini telah dilaporkan oleh Leznoff dan Lever. Material ini juga memberikan harapan untuk *photoconductive and photovoltaic response*, dimana riset keadaan arus telah ditinjau ulang oleh (Whitlock et al., 1993 dan Law, 1993).

CuPc (*Copper Phthalocyanine*) merupakan topik yang menarik untuk diteliti, sebab mempunyai kepekaan tinggi terhadap oksidasi gas. Perkembangan bentuk sensor gas saat ini memerlukan pengetahuan yang canggih terhadap struktur maupun bentuk dari film tipis. Kenyataannya, bahwa struktur dan bentuk dari film tipis CuPc (*Copper Phthalocyanine*) sangat berpengaruh terhadap karakteristik sensor gas. Bahan semikonduktor *Phthalocyanine* dan paduannya memiliki aspek potensi komersial dan menawarkan aplikasi yang lebih unggul dibanding dengan silikon. Bahan ini juga memperlihatkan kepekaan tinggi pada elektron akseptor gas dan absorpsi permukaan kristal (film tipis) diikuti oleh reaksi transfer muatan yang mempengaruhi generasi pembawa muatan dan peningkatan konduktivitas.

Alasan utama menggunakan bahan CuPc karena dari beberapa hasil kajian sebelumnya menunjukkan bahwa CuPc sangat sensitif (1 ppb - 200 ppm) terhadap gas tersebut. Disisi lain, CuPc merupakan semikonduktor yang mempunyai konduktivitas tinggi dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan aktif untuk sensor gas (Zhou dkk, 1996). Dalam penelitian ini akan dilakukan deposisi film tipis dengan bahan semikonduktor CuPc. Deposisi dilakukan dengan metode penguapan hampa udara (*vacuum evaporation*). Pembuatan sensor gas berstruktur transistor efek medan (FET) dengan elektroda menggunakan emas sebagai sensor gas beracun. Pengujian kinerja sensor gas dilakukan untuk mendeteksi gas beracun.

Fokus utama dalam penelitian ini adalah penumbuhan film tipis berbasis semikonduktor organik menggunakan metode penguapan hampa udara pada suhu ruang. Untuk keperluan ini, maka film tipis CuPc akan dideposisikan di atas substrat silicon (Si).

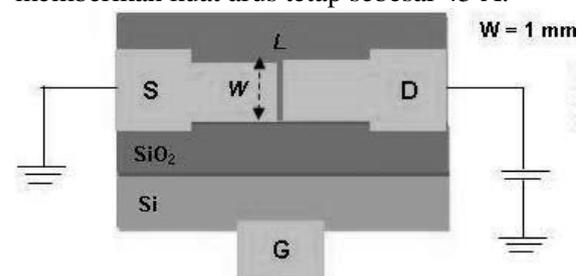
Dari hasil penelitian diharapkan terbentuknya film tipis CuPc yang optimum untuk aplikasi sensor gas buang kendaraan bermotor.

Dengan memperhatikan uraian di atas, maka ketersediaan film tipis CuPc yang optimum untuk aplikasi sensor gas adalah sangat vital, terutama untuk mendeteksi secara dini adanya gas beracun dari kendaraan bermotor. Sehingga penelitian yang diajukan ini akan berkonsentrasi pada pengembangan sensor gas beracun berbasis film tipis untuk aplikasi sensor gas. Rencana aplikasi sensor gas yang lebih jauh untuk mendeteksi adanya gas beracun dari sistem pembakaran, seperti: kendaraan bermotor berbahan bakar bensin dan gas buang dari pabrik.

METODE

Fabrikasi alat deteksi gas berstruktur FET dilakukan dengan membuat struktur *bottom-contact*. Permulaan dilakukan pencucian substrat dengan etanol dalam *ultrasonic cleaner*. Setelah substrat bersih, kemudian dilakukan pendeposisian elektroda *source/drain* di atas substrat dengan bahan emas murni dengan teknik *lithography* dan metode *vacuum evaporator*, selanjutnya penumbuhan film tipis. FET yang akan dibuat berstruktur *bottom-contact* seperti ditunjukkan dalam Gambar 1.

Cara penumbuhan film tipis CuPc, sebagai berikut : melakukan pemotongan substrat berukuran (1,5 mm x 4,2 mm) dan jarak antara S ke D adalah 200 μm (L), kemudian substrat dicuci dengan alat *Ultrasonic Cleaner Model Core-Parmer*. Material CuPc dengan massa 200 mg dimasukkan dalam *bell-jar* (ruang evaporasi). Selanjutnya substrat yang telah dibersihkan dipasang pada *holder* tepat di atas *boot* yang telah berisi CuPc. Alat VE divakumkan sampai tekanannya turun menjadi 8×10^{-4} Pa (sekitar 4 jam). Proses evaporasi dilakukan dengan memberikan kuat arus tetap sebesar 45 A.



Gambar 1. Struktur OFET *bottom-contact*

Cara melakukan karakterisasi dan mengukur mobilitas pembawa muatan dari FET dengan struktur *bottom-contact*, sebagai berikut: Elektroda *S* dihubungkan ke *grounded*, sedangkan elektroda *G* dan *D* masing-masing dihubungkan dengan panjar mundur. Untuk menentukan grafik karakteristik, maka dilakukan pengukuran arus (I_D) yang berasal dari *source* ke *drain* (I_D) dengan memvariasi tegangan *drain* (V_D) untuk setiap nilai tegangan *gate* (V_G).

Untuk menentukan mobilitas diperlukan data: I_{DS} , $V_{(DS)}$, $V_{(T)}$, C_i , V_{GS} , L dan W , Dimana L dan W masing-masing adalah panjang dan lebar suatu *channel* dan C_i adalah kapasitansi per satuan luas bahan isolator. μ = mobilitas ; V_T = tegangan ambang. Setelah data hasil eksperimen lengkap, maka dimasukkan dalam persamaan:

$$I_{DS} = \left(\frac{WC_{i\mu}}{2L} \right) \left[(V_T - V_{GS})V_{DS} + \frac{V_{DS}^2}{2} \right] \dots\dots\dots (1)$$

Untuk menentukan mobilitas pembawa muatan pada daerah saturasi, sebagai berikut :

$$V_{DS}(V_{DS}|I_{DS(sat)}) = V_{DS(sat)} = -(V_T - V_{GS}) \dots\dots\dots (2)$$

Dari persamaan (1) dan (2) untuk menentukan daerah saturasi untuk *hole*, sebagai berikut:

$$I_{DS(sat)} = \frac{WC_{i\mu}}{L} \times \frac{V_{DS(sat)}^2}{2} \dots\dots\dots (3)$$

Dari persamaan (3) dan (4) diperoleh :

$$\sqrt{I_{DS(sat)}} = \sqrt{\frac{WC_{i\mu}}{2L}} \times V_{DS(sat)} \dots\dots\dots (4)$$

Untuk analisis pada daerah aktif pada FET, hanya untuk tegangan *gate* (V_G) = 0 volt, seperti ditunjukkan dalam Gambar 3.

Karakterisasi FET diperoleh daerah aktif untuk V_D adalah (2,79 V sampai dengan 3,42 V) dan arus I_D ($1,49 \cdot 10^{-4}$ A sampai dengan $0,00149$ A). Sedangkan untuk daerah saturasi FET pada tegangan V_D dari 3,43 V sampai dengan 9 V dan ini merupakan daerah *cut off*. Sedangkan untuk daerah saturasi FET pada tegangan V_D dari 3,43 V sampai dengan 9 V dan ini merupakan daerah *cut off*.

Untuk menentukan mobilitas pembawa muatan pada daerah linier, digunakan persamaan:

Penyelesaian persamaan (4) untuk menentukan mobilitas pembawa muatan (μ) dan mendefinisikan m :

$$m = \sqrt{\frac{WC_{i\mu}}{2L}} \dots\dots\dots (5)$$

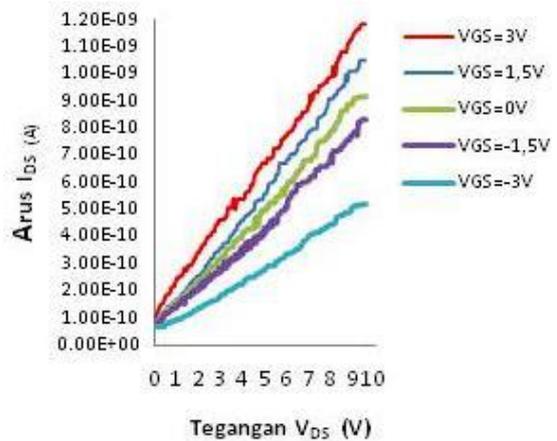
Sehingga mobilitas pembawa muatan adalah :

$$\mu = \frac{2L}{WC} m^2$$

Evaluasi untuk menentukan m tidak lain adalah gradient dari grafik $(I_{DS})^{1/2}$ dengan V_{GS} , hal ini mobilitas pembawa muatan pada daerah saturasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi FET dapat dilihat pada Gambar 3. Tegangan pada *gate* dibuat bervariasi, yaitu : -3 V; -1,5 V; 0 V; 1,5 V dan 3 V, sedangkan tegangan yang diterapkan pada *S* dan *D* adalah 3 volt.



Gambar 2. Panjang *channel* 200 μ m

$$I_{DS} = \left(\frac{WC_{i\mu}}{2L} \right) \left[(V_T - V_{GS})V_{DS} + \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

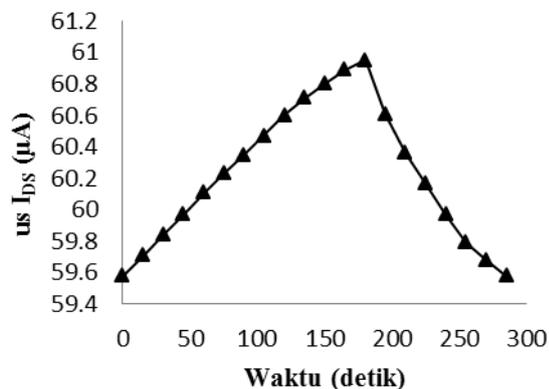
Dari hasil perhitungan data eksperimen diperoleh mobilitas daerah linier, yaitu: $\mu = 0,10121664 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ S}^{-1}$. Sedangkan untuk menentukan mobilitas pembawa muatan daerah saturasi, digunakan persamaan:

$$\mu = \frac{2L}{WC} m^2$$

Dari data hasil eksperimen dapat untuk menentukan mobilitas pembawa muatan pada daerah saturasi, yaitu: $\mu = 0.05468465 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ S}^{-1}$

Pengujian kinerja alat deteksi dalam penelitian ini adalah aplikasi sensor gas untuk deteksi gas gas buang kendaraan bermotor, meliputi: waktu tanggap dan waktu pemulihan.

Cara pengujian kinerja sensor gas berstruktur FET sebagai berikut: alat deteksi gas yang diuji ditempatkan dalam *glass chamber* dan ditutup dengan logam dan dilindungi pernis untuk menghindari kebocoran gas. Gas uji dengan dialirkan ke dalam *glass chamber*, selanjutnya dilakukan pengukuran I_{DS} dan V_{DS} dengan interval waktu tertentu.



Gambar 3. Grafik waktu terhadap arus I_{DS} untuk gas buang kendaraan bermotor

Grafik respon dari sensor gas FET dengan gas uji emisi gas buang kendaraan bermotor (Gambar 4.) menunjukkan bahwa *response time* = 135 detik dan *recovery time* = 150 detik dengan panjang *channel* 200 μm .

SIMPULAN

1. ET berbasis film tipis CuPc yang telah dihasilkan memiliki daerah aktif (2,79 V sampai dengan 3,43 V). Ukuran FET sangat kecil (6,15) mm^2 dan jarak S ke D 200 μm , sehingga bersifat *mobile*.
2. waktu tanggap dari sensor gas berstruktur FET terhadap gas buang kendaraan bermotor adalah 135 s, sedangkan waktu pemulihan adalah 150 s.
3. panjang *channel* sensor gas berstruktur FET mempengaruhi besarnya arus yang mengalir dari *source* ke *drain*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini perkenankanlah penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Dr. Putut Marwoto, M.S. yang telah banyak memberikan masukan,

saran ilmiah dan dorongan selama penulis menyelesaikan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambily, S. and Menon, C.S., 1999, *The Effect of Growth Parameter on the Electrical, Optical and Structural Properties of Copper Phthalocyanine Thin Film*, Thin Solid Film 374, 284-288
- Chadwick, A.V., Dunning, P.B.M and Wright, J.D., 1986, *Application of organic solids to chemical sensing*. Mol. Cryst, Liq. Cryst, 134, 137-153.
- Dimitrakopoulos, C.D And J. Mascaro, D.J., 2001, *Organic thin-film transistors: A review of recent advances*, IBM J. Res. & Dev., 45, 11. Dogo, S., Blanc, J.P. C.
- Dogo, S., Blanc, J.P., Maleysson, C. and Pauly, A., (1992) *Interaction of NO~ with copper phthalocyanine thin films. 11: Application to gas sensing*, Thin Solid Films, 219 (1992) 251.
- Maleysson and Pauly, A., 1992, *Interaction of NO~ with copper phthalocyanine thin films. 11: Application to gas sensing*, Thin Solid Films, 219 (1992) 251.
- Henning Rost, Jürgen Ficker, Juan Sanchez Alonso, Luc Leenders, Iain McCulloch, 2004, *Air-stable all-polymer field-effect transistors with organic electrodes*, Synthetic Metals 145, 83-85. Electron, 7(1964)(423-430)
- Ihamtola, H.K.J. and Moll, J.L., 1964, *Design Theory of a Surface Field Effect Transistor*, Solid State Electron, 7(1964)(423-430)
- Kennedy, D.P. and Murley, P.C., 1973, *Steady State Mathematical Theory for the Insulated Gate Field Effect Transistor*, IBM J. Res. Dev, 17(1)(1973).1-11
- Leznoff, A.B.P. Lever, 1989, *Phthalocyanines, Properties and Applications 1-3 VCH*
- Law, K.Y., 1993, *Organic photoconductive materials — recent trends and developments*, Chem. Rev. 93_1993.449-486.

- Mirwa,A., Friedrich,M, Hofman,A, 1995, *Sensors and Actuator* B24-25,596
metallophthalocyanine semiconductors,
Nouv. J. Chim. 5- 485–490.
- Newton, M.I., Strarke, T.K.H., Mr. Willis, G.
Mc Hale, 2000, *NO₂ detection at room
Temperatur with copper
phthalocyanine thin film
devices*,Sensor and Actuators B 67_
307-311
- Puigdollers, J., Voz, C, Fonrodona, M.,
Cheylan,S., Stella, M., Andreu, J.,
Vetter, M., Alcubilla, R ., 2006,
*Copper phthalocyanine thin-film
transistors with polymeric gate
dielectric*, Journal of Non-
Crystalline Solids 352 (2006) 1778–
1782
- M. Martin,M, J.J. Andre, J. Simon,
1981,*Organic solar-cells based on*
Radhakrishnan, S. and Deshpande, S.D., 2002,
*Conducting Polymers Functionalized
with Phthalocyanine as Nitrogen
Dioxide Sensors*,Sensor, 2,185-194
- Whitlock,J.B., Panayotatos, Sharma, G.D.,
Cox, M.D. , Sauers, R.R. , Bird, G.R.
1993. *Investigations of materials and
device structures fororganic
semiconductor solar-cells*, Opt. Eng.
32_1993.1921–1934.
- Zhou, R., Josse, F., Göpel, W., öztürk, Z.Z.
and ö.Bekaroglu, 1996,
*Phthalocyanine as sensitiv
material for chemical sensors*, *Applied
Organometallic Chemistry*,
Vol.10,557 – 577