

SENSOR GAS BERBASIS FILM TIPIS DENGAN KONFIGURASI TRANSISTOR EFEK MEDAN (FET) UNTUK DETEKSI GAS CO

Sujarwata, Putut Marwoto

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Email: sjarwot.@yahoo.co.id

Abstrak. Pembuatan dan karakterisasi Transistor Efek Medan (FET) berbasis film tipis dengan struktur *bottom-contact* dan panjang *channel* 100 μm untuk aplikasi sensor gas. Pembuatan FET dengan cara: permulaan dilakukan pencucian substrat Si/SiO₂ dengan *etanol* dalam *ultrasonic cleaner*, kemudian dilakukan pendeposisian elektroda *source/ drain* dengan metode penguapan hampa udara dan teknik *lithography*. Selanjutnya dilakukan deposisi film tipis CuPc diantara *source/drain* sebagai panjang *channel* dan elektrode *gate*. Karakteristik FET, untuk daerah aktif untuk V_{DS} (2,80 s/d 3,42) V dan kuat arus I_{DS} (0,00095 s/d 0,00169) A. FET akan aktif beroperasi hanya diperlukan tegangan V_{DS} (2,79 V s/d 3,43 V) dan dengan ukuran sangat kecil (1,5 mm x 3,1 mm) serta jarak antara S ke D adalah 100 μm . Aplikasi sensor gas telah dilakukan untuk mendeteksi gas CO, diperoleh hasil untuk *response time* 90 detik dan *recovery time* 120 detik.

Kata kunci : deposisi, film tipis, *channel*, sensor gas, FET

PENDAHULUAN

Gas CO dapat bereaksi dengan hemoglobin darah akan membentuk senyawa karboksi hemoglobin (Hb-CO) yang tidak bisa mengangkut oksigen dalam sirkulasi darah. Kemampuan gas CO dalam mengikat Hb, ternyata 210 kali lebih kuat, apabila dibandingkan dengan ikatan antara O₂ dengan hemoglobin (Hb), sehingga mengakibatkan O₂ akan kalah bersaing. Seseorang yang telah teracuni dengan gas CO akan mengalami gejala gangguan kesehatan, antara lain: adanya gejala sakit kepala, gangguan pada mental (*mental dullness*), pusing, tubuhnya sangat lemah, mual, muntah, kehilangan kontrol pada otot, diikuti dengan adanya penurunan denyut nadi dan frekuensi pernapasan, pingsan, dan bahkan dapat meninggal. Kasus pingsan atau bahkan bisa meninggal akan terjadi apa bila kadar Hb-CO dalam darah mencapai 60% dari total Hb darah (www.depkes.go.id). Terkait dengan adanya fenomena tersebut, diperlukan penelitian untuk menghasilkan produk teknologi yang dapat digunakan mendeteksi gas beracun secara dini.

Sensor kimia untuk berbagai macam gas sangat pesat pengembangannya dalam dekade

terakhir ini. Hal ini disebabkan oleh pengembangan sensor kimia yang cenderung lebih murah, lebih kecil dan lebih *mobile* dari pada instrumen analitis tradisional yang banyak digunakan saat ini. Beberapa contoh dalam pengembangan sensor gas antara lain untuk monitoring proses pembakaran dan emisi gas buang dari kendaraan bermotor, untuk mendeteksi asap, memonitor emisi gas pada proses industrial seperti pembangkit listrik dan memonitor degradasi oli mesin (Dickert et al, 2001).

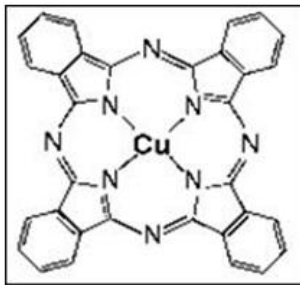
Penelitian tentang FET yang dimanfaatkan sebagai sensor gas sangat intensif sejak dasawarsa ini. Hal ini karena keunggulan FET dibandingkan dengan transistor anorganik dari bahan silikon, yaitu: suatu piranti elektronika ramah lingkungan, mudah fabrikasinya dan hemat operasionalnya. Mobilitas pembawa muatan sensor gas bahan anorganik pada umumnya masih rendah. Rendahnya mobilitas pembawa muatan dikarenakan belum diteliti struktur film tipis secara optimal. Film tipis ini nantinya diharapkan dapat bekerja secara optimum pada suhu kamar sebagai sensor gas. Pendeteksian gas didasarkan pada peristiwa oksidasi reduksi yang terjadi antara permukaan lapisan tipis dengan gas. Namun permasalahan yang masih sering muncul berkaitan dengan pembuatan sensor gas adalah waktu respon yang lambat, yaitu: 2 menit.

Sensor gas berstruktur FET seperti yang diajukan penelitian ini merupakan upaya memperbaiki mobilitas pembawa muatan, waktu respon dan waktu pulih. Sensor gas dengan struktur FET akan menghasilkan adanya modulasi resistansi, sehingga memungkinkan untuk mendeteksi gas yang mempunyai konsentrasi berbeda. Rendahnya mobilitas pembawa muatan, disinyalir karena belum optimalnya sifat-sifat material organik akibat masih banyaknya mekanime fisis, baik material maupun piranti FET. Penelitian ini merupakan salah satu upaya untuk memperbaiki mobilitas pembawa muatan. Selama beberapa tahun terakhir, unjuk kerja FET secara kontinu telah mengalami perbaikan hingga mengarah penerapan industri. Dengan potensi besar sebagai komponen elektronika masa depan yang murah dan sebagai kartu cerdas (*smart-card*) misalnya, maka polimer yang dapat diproses dengan metode pelarutan (*solution process*) dapat sebagai pengganti teknologi silikon yang mahal (Henning Rost,2004).

Material *Phtalocyanine* stabil dengan panas secara alami dan cocok untuk dideposisikan sebagai film tipis dengan sublimasi panas. Suatu tinjauan ulang tentang material ini telah dilaporkan oleh Leznoff dan Lever (1989). Material ini juga memberikan harapan untuk *photoconductive and photovoltaic response*, dimana riset keadaan kuat arus telah ditinjau ulang oleh, (Law,1993). Material CuPc merupakan topik yang menarik untuk diteliti, sebab mempunyai kepekaan tinggi terhadap oksidasi gas. Pada penelitian ini akan dihasilkan film tipis CuPc yang ditumbuhkan dengan metode penguapan hampa udara pada suhu ruang. Hasil penumbuhan film tipis CuPc digunakan sebagai landasan untuk pembuatan FET. Selanjutnya hasil OFET CuPc dimanfaatkan untuk aplikasi sensor gas CO.

METODE

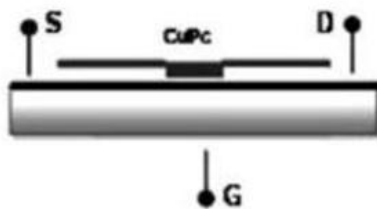
Cara penumbuhan film tipis, sebagai berikut: melakukan pemotongan substrat berukuran (1,5 mm x 4,2 mm), kemudian substrat dicuci dengan alat *Ultrasonic Cleaner Model Core-Parmer*. Material CuPc dengan massa 200 mg dimasukkan dalam *bell-jar* (ruang evaporasi). Selanjutnya substrat yang telah dibersihkan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



Gambar 1. Struktur molekul CuPc (Puigdollers,2006)

Perancangan dalam pembuatan FET berbasis film tipis CuPc berstruktur *bottom contact* adalah, sebagai berikut:

- Pembuatan FET dengan struktur *bottom-contact*
- Konfigurasi divais FET mempunyai komponen utama, yaitu: *source*, *drain*, *gate* elektroda, lapisan dielektrik dan lapisan semikonduktor (CuPc)
- Panjang *channel* (L) = 100 μm dan lebar *channel* (W) = 1 mm
- Kontak resistansi 2 macam (S dan D)
- Tahapan pembuatan pembuatan FET berbasis film tipis, adalah sebagai berikut: Adapun tahapan dalam pembuatannya, sebagai berikut: mula-mula dilakukan pencucian substrat Si/SiO₂ dengan *etanol* dalam *ultrasonic cleaner*; selanjutnya dilakukan pendeposisian elektroda pada S dan D di atas lapisan SiO₂ menggunakan bahan emas (Au) dengan teknik *lithography* dan deposisi.
- Deposisi film tipis CuPc di atas S dan D



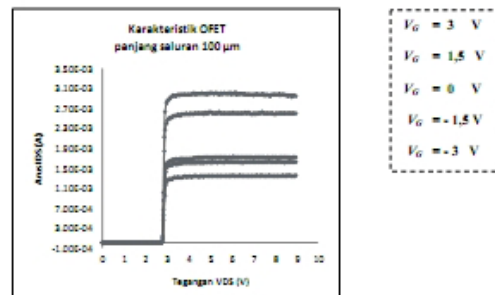
Gambar 2. Struktur FET *bottom-contact*

- Karakterisasi FET yang diaplikasikan untuk sensor gas, sebagai berikut
- Karakterisasi FET, sebagai berikut: elektroda *source* (*S*) dihubungkan dengan *ground*, sedangkan elektroda *gate* (*G*) dan *drain* (*D*) masing-masing dihubungkan dengan panjar mundur.
 - Untuk menentukan grafik karakteristik FET, sebagai berikut: kuat arus yang mengalir dari *source* ke *drain* (I_D) diukur dengan memvariasi tegangan *drain* (V_D) untuk setiap nilai tegangan *gate* (V_G).

Uji coba kinerja FET sebagai sensor gas, meliputi: waktu respon dan waktu pulih. Adapun cara untuk karakterisasi adalah sebagai berikut: FET ditempatkan dalam *glass chamber* yang atasnya ditutup oleh metalik dilindungi oleh pernis. Gas uji/udara bebas dimasukkan ke dalam *glass chamber* melalui saluran secara bergantian dengan interval waktu tertentu. Kuat arus elektrik diukur dengan elektrometer (El Kahfi 100). Elektrometer dikendalikan oleh perangkat lunak agar dapat merekam pengukuran I_D dan V_D , selanjutnya data diolah pada *personal computer* (PC) agar dapat diamati. Tegangan dapat diterapkan, baik secara terus-menerus atau pada jangka pendek, bergantung pada hasil eksperimen yang diharapkan. Data yang diperoleh dibuat grafik antara I_D dan V_D dengan berbagai nilai V_D dan grafik ini merupakan karakteristik FET.

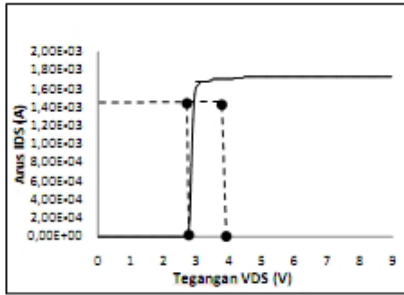
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil karakterisasi FET berbasis film tipis 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 3. Karakteristik FET

Untuk menganalisis pada daerah aktif FET berbasis film tipis sebagai sensor gas, hanya untuk tegangan *gate* (V_G) = 0 volt, seperti ditunjukkan dalam Gambar 4. Karakterisasi FET untuk aplikasi sensor gas diperoleh bahwa untuk daerah aktif tegangan V_D adalah (2,79 V sampai dengan 3,43 V) . Sedangkan kuat arus I_D (0,00095 s/d 0,00169) A . Sedangkan daerah saturasi FET pada tegangan *drain* V_D (3,43 volt sampai dengan 9 volt) dan ini merupakan daerah *cut off*. OFET akan aktif beroperasi hanya diperlukan tegangan (2,80 V sampai dengan 3,42 V) dan dengan ukuran sangat kecil (1,5 mm x 4,1 mm) serta jarak antara S ke D hanya 100 µm.



	V_{DS} (V)	I_{DS} (A)
Active Region	2,80 s/d 3,42	0,00095 s/d 0,00169
Saturation Region	3,42 s/d 9	0,00171
Breakdown Region	$9 \geq$	0,00171

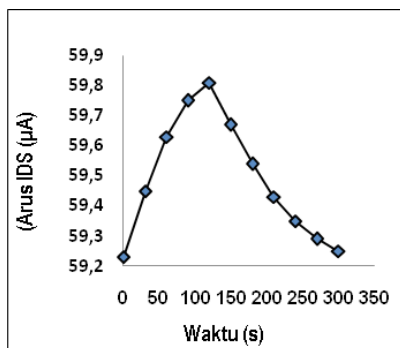
Gambar 4. Karakteristik FET

Karakterisasi FET diperoleh bahwa daerah aktif untuk V_D (2,79 V sampai dengan 3,43 V) dan kuat arus I_D (0,00095 s/d 0,00169) A . Sedangkan daerah saturasi FET pada tegangan V_D (3,43 V sampai dengan 9 V) dan ini merupakan daerah *cut off*. FET akan aktif beroperasi hanya diperlukan tegangan (2,80 V sampai dengan 3,42 V) dan dengan ukuran sangat kecil (1,5 mm x 4,1 mm) serta jarak antara S ke D hanya 100 μm , sehingga bersifat *mobile*.

Aplikasi Sensor Gas

Jika permukaan lapisan tipis dari piranti sensor dikenai suatu gas, maka akan terjadi perubahan kekonduksian listrik terhadap perubahan waktu pengamatan, ini merupakan prinsip kerja sensor gas. Sensor gas yang memanfaatkan struktur transistor FET berbasis lapisan tipis dapat mendeteksi adanya beberapa gas, antara lain: gas buang kendaraan bermotor, CO dan NH_3 . Dalam makalah ini, hanya akan dilaporkan sensor gas pada saat dikenai dengan gas CO dengan volume gas 0,5 cc.

Pengujian sensor gas dilakukan dengan cara mengalirkan gas uji secara bergantian ke dalam tabung uji (*chamber*) dengan periode waktu 15 detik, kemudian diukur kuat arus diantara S dan D . Volume tabung gas uji adalah $1,411246 \times 10^5$ cc, tegangan V_D yang diaplikasikan ($3 \pm 0,05$) V, tegangan gate (V_G) = 0 V dan tegangan pada S (V_S) = 0 V. Perbandingan antara volume gas uji dengan volume udara pada tabung uji adalah $(1 : 1,1411246 \times 10^5) = 7,08503 \times 10^{-6}$.



Gambar 5. Grafik respon gas terhadap waktu

Dari grafik Gambar 5 terlihat, bahwa sensor mendeteksi adanya gas CO dapat diamati untuk waktu respon (*response time*) maupun waktu pulihnya (*recovery time*). Sensor merespon adanya gas CO saat permulaan memerlukan waktu 90 detik dan waktu pulihnya memerlukan waktu 120 detik.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Sensor gas berbasis film tipis CuPc yang telah dihasilkan memiliki daerah aktif sam (2,80 V sampai dengan 3,42 V). Ukuran Sensor gas sangat kecil (6,15) mm² dan jarak *S* ke *D* (panjang *channel*) adalah 100 μm, sehingga bersifat *mobile*. Sensor gas telah diuji untuk mendeteksi gas CO, diperoleh bahwa Sensor gas dapat mendeteksi dengan waktu respon (90 detik) dan waktu pulih (120 detik).

Saran

Ukuran sensor gas berbasis film tipis dan berstruktur FET yang dibuat sebaiknya dengan panjang *channel* sekecil mungkin agar mobilitas pembawa muatan meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Dickert, F.L., Greibl, W., Rohrer, A. dan G. Voigt, D., 2001, *Sol-gel-coated quartz crystal microbalances for monitoring automotive oil degradation*, *Advanced Materials*, 13, 1327-1330.
- 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)
- 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.