



DIREKTORAT JENDERAL PENGUATAN RISET DAN PENGEMBANGAN
KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI

Sertifikat

Nomor : 0718/E3.4/LT/2016

diberikan kepada

SUJARWATA

(Universitas Negeri Semarang)

yang telah berpartisipasi aktif pada:

Seminar Hasil Penelitian Peningkatan Kapasitas Riset:
(yang sudah selesai tahun 2015) Skema Penelitian Disertasi Doktor
di selenggarakan pada tanggal, 11 - 12 Februari 2016 di Yogyakarta

Sebagai

PENYAJI

Jakarta, 07 Maret 2016

Direktur Riset dan Pengabdian Masyarakat,

[Signature]
Prof. Dr. Ocky Karna Radjasa, MSc.
NIP 196510291990031001

FM/DA

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Sensor Berbasis Film Tipis Untuk Deteksi Gas : NH₃, Buang Kendaraan Bermotor Dan CO

Sujarwata

Departemen Fisika, Universitas Negeri Semarang , Semarang, Indonesia

*email: sjarwot@yahoo.co.id

ABSTRAK

Sensor gas berbasis film tipis *copper phthalocyanine* (CuPc) telah dibuat dalam penelitian ini untuk mendeteksi gas: emisi gas buang kendaraan bermotor, NH₃ dan CO. Lapisan silikon dioksida (SiO₂) sebagai insulator telah dideposisikan pada permukaan substrat Si dengan metode *thermal*. Material CuPc sebagai lapisan aktif sensor gas dideposisi di atas SiO₂ dengan metode *vacuum evaporator* (VE) suhu ruang dengan tekanan 8×10^{-4} Pa.

Pembuatan sensor gas berbasis film tipis CuPc berstruktur FET dengan panjang *channel* 100 μm menggunakan metode 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 dengan metode *vacuum evaporator*, deposisi film tipis diantara *source/drain* dan diakhiri dengan deposisi *gate*. OFET kemudian karakterisasi dengan *El-Kahfi* 100 untuk menentukan karakteristik keluaran dan mobilitas pembawa muatan.

Hasil pengujian karakterisasi I-V menunjukkan arus *drain-source* (I_{DS}) dipengaruhi oleh perubahan tegangan *gate* (V_G). Tegangan V_G semakin besar maka I_{DS} yang dihasilkan semakin meningkat. Karakterisasi sensor gas diperoleh bahwa daerah aktif untuk V_D adalah 2,79 V sampai dengan 3,43 V dan arus I_D $0,577 \cdot 10^{-5}$ A sampai dengan 0,0013 A. Sedangkan untuk daerah saturasi OFET pada tegangan V_D dari 3,43 V sampai dengan 9 V dan ini merupakan daerah *cut off*. Pengujian kelayakan sensor gas adalah menentukan: waktu tanggap (*response time*) dan waktu pemulihan (*recovery time*). Waktu tanggap sensor terhadap gas NH₃, buang kendaraan bermotor, dan CO berturut-turut: 75 s, 135 s dan 150 s. Sedangkan waktu pemulihan berturut-turut: 90 s, 150 s dan 225 s. Sensor gas berstruktur FET berbasis film tipis CuPc paling baik untuk mendeteksi adanya gas NH₃.

Kata kunci : OFET, film tipis, *response time*, *recovery time* dan sensor gas

PENDAHULUAN

Pengembangan teknologi membawa kemajuan kehidupan manusia, akan tetapi juga berdampak negatif bagi lingkungan. Hal ini terlihat pada penurunan kualitas udara akibat pencemaran emisi kendaraan bermotor, seperti gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Disamping itu limbah industri juga penyebab pencemaran udara. Kehadiran berbagai jenis gas tersebut pada tingkat tertentu semakin mengkhawatirkan kehidupan makhluk hidup. Terkait dengan fenomena tersebut, diperlukan upaya melalui penelitian untuk menghasilkan produk teknologi yang dapat digunakan untuk mendeteksi gas beracun secara dini.

Gas CO bereaksi dengan hemoglobin darah akan membentuk senyawa karboksi hemoglobin (Hb-CO) yang tidak bisa mengangkut O₂ dalam sirkulasi darah. Kemampuan gas CO mengikat Hb, ternyata 210 kali lebih kuat apabila dibandingkan ikatan antara O₂ dengan Hb, sehingga mengakibatkan O₂ akan kalah bersaing. Seseorang yang telah teracuni dengan 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).

Pembangunan segala bidang membawa kemajuan kehidupan manusia, tetapi juga membawa dampak negatif bagi lingkungan hidup, seperti penurunan kualitas udara akibat pencemaran gas CO dan CO₂ dari asap kendaraan bermotor dan limbah industri. Kehadiran berbagai jenis gas tingkat tertentu telah semakin mengkhawatirkan bagi kehidupan makhluk hidup. Terkait fenomena tersebut diperlukan upaya riset menghasilkan produk teknologi yang dapat digunakan untuk deteksi gas pencemar. Alat deteksi gas yang mempunyai sensitivitas terhadap gas adalah sensor gas yang terbuat dari bahan semikonduktor (Min, 2003).

Gas NH₃ berbau tidak sedap dan menyengat membahayakan bagi kesehatan manusia. Efek jangka pendek mengakibatkan iritasi saluran pernapasan, hidung, tenggorokan dan mata. Kontak dengan mata menimbulkan iritasi hingga kebutaan total, sedangkan kontak dengan kulit menyebabkan luka bakar (*frostbite*). Efek jangka panjang menghirup gas NH₃ dengan konsentrasi tinggi secara terus-menerus mengakibatkan kerusakan paru-paru dan menyebabkan kematian (Christopel, 2009). Sehubungan dengan bahaya yang ditimbulkan oleh NH₃, diperlukan alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas NH₃ tersebut (Muliadi, 2006).

Deteksi bahan kimia beracun di lingkungan lebih efektif jika menggunakan teknik sederhana dan alat yang mudah digunakan. Alat tersebut memiliki kemampuan memonitor lingkungan, seperti lingkungan kerja, pabrik dan rumah secara, sehingga dapat melaporkan tingkat pencemaran. Salah satu bentuk alat tersebut adalah sensor gas. Sensor gas amonia bermacam-macam, salah satunya menggunakan material semikonduktor organik CuPc.

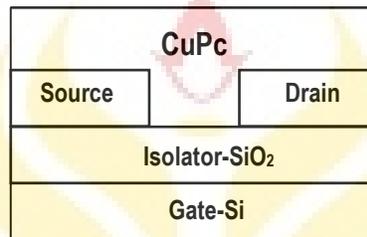
Dewasa ini penelitian film tipis menjadi salah satu bidang menarik sekaligus bermanfaat bagi manusia. Film tipis dimanfaatkan sebagai piranti optik, opto-elektronik, bahan feromagnetik, superkonduktor dan bahan mikroakustik. Berbagai usaha dilakukan untuk memperluas pemanfaatan film tipis sebagai sensor gas. Dengan meningkatnya perkembangan teknologi, kebutuhan material juga meningkat. Sensor gas dapat pula untuk menguji kadar oksigen yang dikeluarkan oleh mesin berbahan bakar hidrokarbon (Moseley, 1992). Selain itu sensor gas dimanfaatkan oleh industri untuk deteksi gas berbahaya proses produksi. Sensor digunakan secara mandiri untuk mendeteksi gas atau dapat diintegrasikan menjadi hidung elektronik untuk deteksi berbagai macam aroma seperti yang dilakukan (Abe dkk., 1987). Penelitian tersebut terutama dimaksudkan mencari semikonduktor baru yang dimanfaatkan sebagai sensor gas berbasis film tipis.

Pada saat ini pengembangan film tipis sebagai sensor yang lebih praktis terus dikembangkan, salah satunya adalah film tipis semikonduktor dapat bekerja pada suhu ruang dan mendeteksi berbagai gas beracun. Pemanfaatan film tipis akan digunakan sebagai sensor gas gas buang kendaraan bermotor, NH_3 dan CO yang sangat reaktif dan berbahaya bagi makhluk hidup apabila tidak terdeteksi. Permasalahannya adalah bagaimana sifat elektrik film tipis semikonduktor organik hasil evaporasi, apakah film tipis dapat digunakan secara optimal dalam fungsinya sebagai elemen sensor gas yang beroperasi pada suhu kamar.

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.

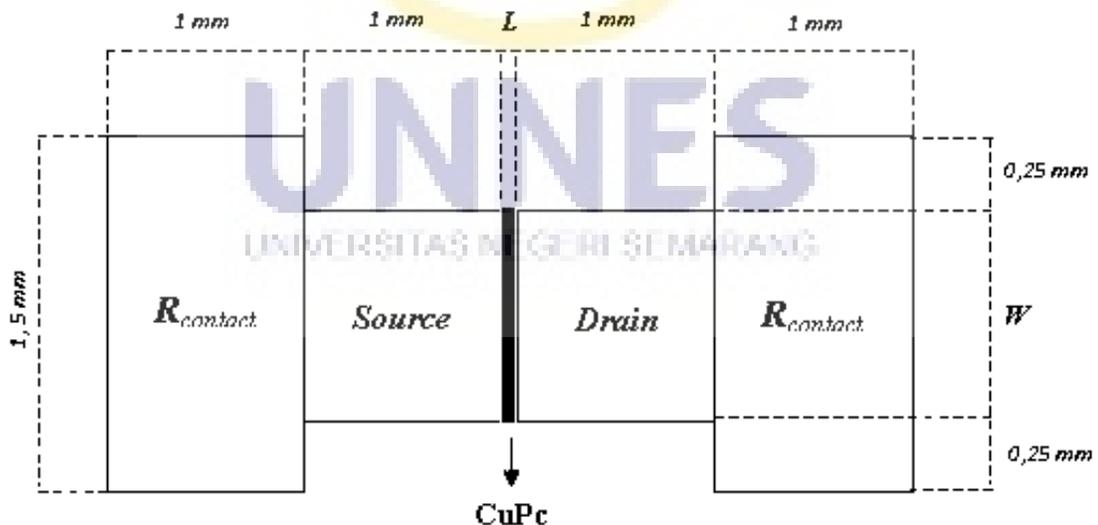
METODE

Pembuatan sensor gas dalam penelitian ini dengan struktur *bottom-contact* dan berbasis film tipis. Pada proses permulaan dilakukan pencucian substrat (Si/SiO₂) dengan etanol dalam *ultrasonic cleaner*. Setelah substrat dibersihkan, kemudian dilakukan deposisi elektroda *source/drain* di atas substrat SiO₂ dengan bahan emas murni (Au) dengan menggunakan teknik *lithography* dan metode *vacuum evaporator* (VE), selanjutnya dilakukan deposisi film tipis. Sensor gas berbasis film tipis yang dibuat dalam riset ini berstruktur *bottom-contact* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur OFET *botom-contact*

Jarak antar elektroda *drain* (D) dan *source* (S) didefinisikan L (panjang *channel*) dan panjang *drain/source* adalah lebar saluran (W). Desain masker untuk pembuatan sensor gas ditunjukkan (Gambar 2), dengan panjang L 100 μm . Untuk lebar *channel* dibuat adalah 1 mm, panjang elektrode 1 mm dan panjang kontak 1 mm.



Gambar 2. Masker proses pembuatan sensor gas

Proses *lithography* dalam pembuatan sensor gas berbasis film tipis merupakan bagian penting, dimana geometri devais ditentukan pada permukaan *wafer* SiO₂/Si. Pembuatan devais sensor gas terdiri atas berulang kali proses *lithography*, seperti langkah proses pembukaan gerbang untuk difusi dan oksidasi.

Cara untuk melakukan karakterisasi dan mengukur mobilitas pembawa muatan dari FET dengan struktur *bottom-contact*, sebagai berikut: Elektroda dari *S* dihubungkan ke *grounded*, sedangkan pada elektroda *G* dan *D* masing-masing dihubungkan dengan panjar mundur. Untuk menentukan grafik karakteristik FET, 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 . Setelah data hasil eksperimen lengkap, maka dimasukkan dalam persamaan:

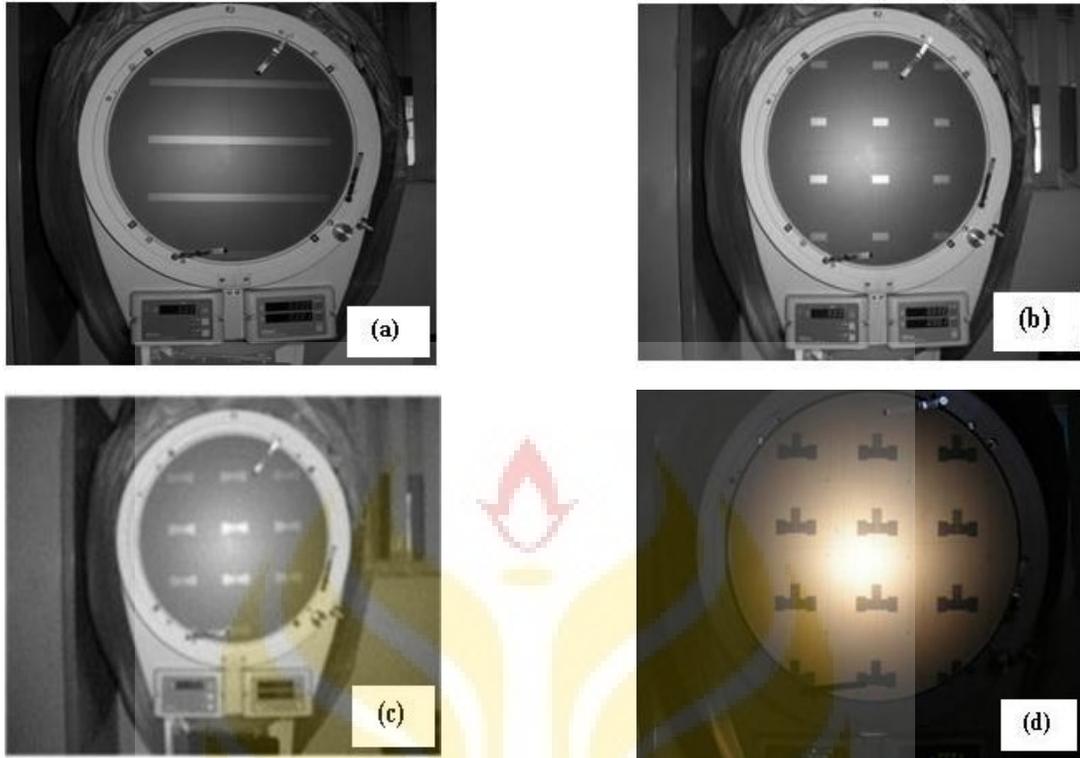
$$I_D = \frac{C_i W}{L} \mu \left[(V_G - V_T) - \frac{V_D}{2} \right] V_D$$

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. Karakterisasi sensor gas berbasis film tipis dilakukan dengan cara sebagai berikut: tegangan *gate* dibuat bervariasi, yaitu: -3 V; -1,5 V; 0 V; 1,5 V dan 3 V, sedangkan tegangan yang diterapkan pada *source* (*S*) dan *drain* (*D*) adalah 3 V.

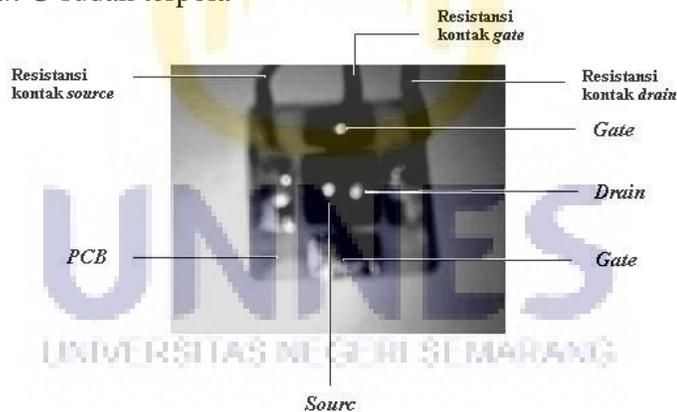
Pengujian kinerja sensor gas dalam penelitian ini adalah aplikasi sensor gas untuk deteksi beberapa gas uji, yaitu: emisi gas buang kendaraan bermotor, NH₃ dan CO, meliputi: waktu tanggap dan waktu pemulihan. Cara pengujian sebagai berikut: sensor gas berbasis film tipis dan berstruktur FET ditempatkan dalam *glass chamber* dan ditutup logam dilindungi pernis untuk menghindari kebocoran gas. Gas uji dengan kecepatan aliran tertentu dialirkan ke dalam *glass chamber*, selanjutnya dilakukan pengukuran I_{DS} dan V_{DS} dengan interval waktu tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil fabrikasi FET untuk aplikasi sensor gas uji pada suhu ruang sebagaimana ditunjukkan Gambar 3. Sensor gas berbasis film tipis berstruktur FET diletakkan di atas PCB menggunakan *gold wire* dan *silver pasta* untuk mempermudah eksperimen.

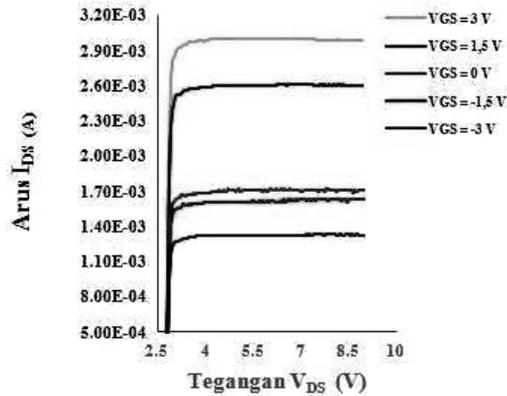


Gambar 3. Proses fabrikasi sensor gas. (a) Elektrode *S* dan *D* belum terpola dan merupakan deposisi Au. (b) Elektrode *S* dan *D* belum terpola dan sudah dilakukan pemotongan tiap sampelnya. (c) Elektrode *S* dan *D* sudah terpola. (d) Elektrode *S*, *D* dan *G* sudah terpola



Gambar 4. Hasil fabrikasi OFET pada PCB.

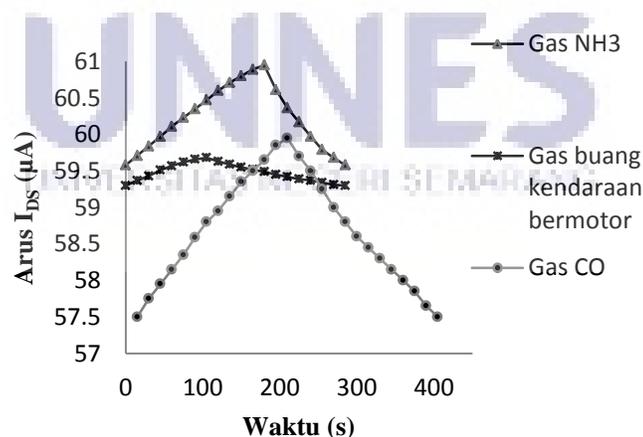
Gambar 4. hasil fabrikasi sensor gas berstruktur FET dengan panjang *channel* 100 μm untuk deteksi emisi gas buang kendaraan bermotor, NH_3 dan CO . Komponen FET tersusun 2 kontak resistansi (*S/D*) dan dilapisi semikonduktor yang peka terhadap gas. *Gate* dicetak pada Si/SiO_2 di bagian bawah (*bottom gate*). Sensor gas tidak memerlukan pemanas untuk deteksi gas NH_3 , gas buang kendaraan bermotor dan CO karena beroperasi pada suhu ruang.



Gambar 5. Karakteristik OFET

Karakteristik FET yang diaplikasikan sebagai sensor gas ditunjukkan Gambar 5 diperoleh daerah aktif tegangan *drain* (V_D) adalah 2,79 V - 3,43 V dan arus drain (I_D) 0,00095A - 0,00109 A. Daerah saturasi OFET pada tegangan drain V_D adalah (3,43 - 9) V, daerah ini disebut *cut off area*. OFET beroperasi secara optimal pada tegangan 2,80 V - 3,42 V. Peningkatan nilai V_{DS} , maka arus I_D akan meningkat sampai ke titik jenuh transistor.

Pengujian kinerja sensor gas FET dalam penelitian ini adalah aplikasi sensor gas untuk deteksi gas beberapa gas uji, yaitu: NH_3 , gas buang kendaraan bermotor dan CO, meliputi: waktu tanggap dan waktu pemulihan. Cara pengujian sebagai berikut: sensor gas ditempatkan dalam *glass chamber* dan ditutup logam dilindungi pernis untuk menghindari kebocoran gas. Gas uji dengan kecepatan aliran tertentu dialirkan ke dalam *glass chamber*, selanjutnya dilakukan pengukuran I_{DS} dan V_{DS} dengan interval waktu tertentu.



Gambar 6. Grafik waktu terhadap arus I_{DS} untuk gas NH_3 , emisi gas buang kendaraan bermotor dan CO

Grafik respon (Gambar 6.) dari sensor gas berbasis film tipis dengan gas uji NH_3 , emisi gas buang kendaraan bermotor dan CO menunjukkan bahwa waktu tanggap berturut turut, yaitu : 75 detik, 135 detik dan 150 detik. Sedangkan waktu pemulihan sensor gas untuk gas uji NH_3 , emisi gas buang kendaraan bermotor dan CO berturut-turut, yaitu: 90 detik, 150 detik dan 225 detik.

Dalam Tabel 5 menunjukkan bahwa jenis gas uji berpengaruh terhadap tanggap sensor gas FET. Tanggap sensor gas yang terbaik adalah sensor gas untuk mendeteksi gas uji amoniak (NH_3), sedangkan sensor gas FET untuk mendeteksi gas uji CO mempunyai waktu tanggap yang paling rendah. Hal ini terjadi karena resistansi sensor gas akan menurun lambat ketika dikenai gas. Oleh karena itu sensor gas FET yang diaplikasikan sensor gas paling baik untuk mendeteksi adanya gas amoniak (NH_3).

Tabel 1. Waktu tanggap dan waktu pemulihan terhadap gas uji

No	Macam gas uji	Waktu tanggap (s)	Waktu pemulihan (s)
1	Gas amoniak (NH_3)	75	90
2	Gas Buang Kendaraan Bermotor	135	150
3	Gas CO	150	225

Hubungan konduktivitas terhadap macam gas uji diamati dengan mempelajari perubahan resistansi film tipis. Konduktivitas bahan ditentukan oleh mobilitas pembawa muatan, sedangkan mobilitas pembawa muatan ditentukan oleh jarak antar elektroda lapisan tipis yang digunakan. Perbedaan macam gas menyebabkan panjang *depletion layer* dan potensial *barrier* akan cenderung untuk meningkat. Macam dari gas dapat menyebabkan penghambat mobilitas pembawa muatan FET dan mengurangi tanggap sensor gas. Dengan adanya peningkatan mobilitas pembawa muatan FET akan menyebabkan meningkatnya waktu tanggap sensor.

SIMPULAN DAN SARAN

A. SIMPULAN

1. Karakterisasi FET berbasis film tipis CuPc diperoleh bahwa daerah aktif untuk V_D adalah (2,79 V sampai dengan 3,43 V) dan kuat arus I_D ($0,577 \cdot 10^{-5}$ A sampai dengan 0,0013 A).
2. Mobilitas pembawa muatan untuk daerah liner dan saturasi, berturut-turut: $0,10121664 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ S}^{-1}$ dan $0.05468465 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ S}^{-1}$.
3. Waktu tanggap FET terhadap gas uji: amoniak (NH_3), buang kendaraan bermotor dan CO berturut-turut: 75 s, 135 s dan 150 s. Sedangkan waktu pemulihan berturut-turut: 90 s, 150 s dan 225 s.
4. Sensor gas berbasis film tipis CuPc berstruktur FET paling baik untuk mendeteksi adanya gas NH_3 (amoniak).

B. SARAN

1. Kecepatan deposisi dapat ditingkatkan dengan menambah arus yang diaplikasikan pada vakum evaporasi.
2. Mobilitas pembawa muatan dapat ditingkat dengan membuat sekecil mungkin panjang *channel* pada FET.
3. FET agar tidak mudah rusak dibuat dengan struktur *bottom-contact*.

UCAPAN TERIMAKASIH

1. Terimakasih banyak disampaikan kepada Putut Marwoto dan Sutikno atas informasinya tentang teknik lithografi dan diskusi yang berharga sehingga mendukung penelitian ini.
2. Program Penelitian Disertasi Doktor Dikti Depdiknas atas dana penelitian yang diberikan pada tahun 2015.
3. Dirjen Dikti yang telah memberikan Beasiswa Program Pascasarjana (BPPS), sehingga dapat melancarkan dan memotivasi penulis dalam proses studi.
4. Segenap staf dan karyawan di jurusan Fisika FMIPA UNNES yang telah banyak bekerjasama dengan penulis selama belajar.
5. Sahabat saya Mahasiswa S3 Ilmu Fisika Angkatan 2008, yang membantu penulis dalam menyusun Disertasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abe, H., Yoshimura, T., Kanaya, S., Takahashi, Y., Miyashita, Y., Sasaki, S., 1987
Automated Odor-sensing System Based on Plural Semiconductor Gas Sensors and
Computerized Pattern Recognition Techniques, *Anal. Chim. Acta.*; 194, 1-9, 1987
- Min, Y., 2003, *Properties and Sensor Performance of Zinc Oxide Thin Film*, Massachusetts
Institute of Technology.
- Moseley, P.T., 1992, Materials Selection for Semiconductor Gas Sensors, *Sensors and Actuators*
B,6, 149-156.
- Brunet, J., Talazac, L., Battut, V., Pauly, A Blanc, J.P., Germain, J.P., Pellier, S., Soulier, C., 2001,
Evaluation of atmospheric pollution by two semiconductor gas sensors, *Thin Solid Films*
391 (2001).308-313
- Brunet, J., Pauly, A., Mazet, L., Germain, J.P., Bouvet, M., Malezieux, B. 2005, Improvement in real
time detection and selectivity of phthalocyanine gas sensors dedicated to oxidizing
pollutants evaluation, *Thin Solid Films* 490 (2005) 28 – 35
- Christopel, D. P., 2009. Pembuatan dan karakterisasi sensor gas amonia berbasis polianilin
(skripsi). Bogor: FMIPA, Institut Pertanian Bogor.
- Joseph, C.M. and Menon, C.S., 2002, Device preparation and characteristics of CuPc
transistor, *Materials Letters* 52 (2002) 220–222
- Maggionia, G., Quaranta, A., Carturan, S., Patelli, A., Tonezzera, M., Ceccato, R., Della Mea, G., 2005,
Deposition of copper phthalocyanine films by glow discharge-induced sublimation for ga
sensing applications, *Surface & Coatings Technology* 200 (2005) 476- 480
- Muliadi, L., O., 2006. Pembuatan sensor fiber optik dengan cladding polianilin
untuk mengukur gas amonia (skripsi), Bogor: Fakultas Matematika dan Ilmu
Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor.
- Yuh-Lang Lee, et al, 2001, Improvement in real time detection and selectivity of
phthalocyanine gas sensors dedicated to oxidizing pollutants evaluation, *Thin Solid*
Films 490 (2005)28–35
- Zhou, R., Josse, F., Göpel, W., öztürk, Z.Z. dan ö.Bekaroglu, 1996 Phthalocyanine as sensitiv
material for chemical sensors, *Applied Organometallic Chemistry*, Vol.10,557 – 577.
- www.depkes.go.id, diakses pada tanggal 17 April 2014