

STUDI PENUMBUHAN FILM TIPIS CUPC DENGAN METODE PENGUAPAN HAMPA UDARA PADA SUHU RUANG UNTUK APLIKASI SENSOR GAS

Sujarwata¹⁾ dan Kuwat Triyana²⁾

¹⁾Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang²⁾ Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Gadjah Mada

Abstrak. Penumbuhan film tipis CuPc di atas substrat SiO₂ dengan metode penguapan hampa udara (*Model JEOL JEE-4X*) telah dilaksanakan. Aktivitas ini merupakan langkah awal untuk mengembangkan sensor gas berbasis CuPc. Penumbuhan film tipis CuPc dilakukan dengan 2 variabel penelitian, yaitu waktu deposisi dan kuat arus pada alat *vacuum evaporator*. Karakteristik film tipis CuPc telah dianalisis didasarkan pada struktur mikro dengan menggunakan *X-Ray Diffraction (X-RD)* and *Scanning Electron Microscopy (SEM)*. Selanjutnya hasil X-RD untuk masing-masing sample telah dianalisis oleh ICDD (*International Centre for Diffraction Data*). Pada sisi lain, permukaan dan ketebalan film tipis CuPc dianalisis dengan gambar hasil dari SEM. Hasil spektrum dari X-RD diperoleh bahwa film CuPc dideposisikan dengan kuat arus 35 A – 50 A menunjukkan adanya peningkatan kristal dalam film tipis CuPc. Ketebalan film tipis CuPc yang dideposisikan dengan pengaturan kuat arus 40 A, 45 A dan 50 adalah berturut-turut 2,1 µm, 2,4 µm dan 4,8 µm. Film tipis CuPc yang didasarkan pada hasil deposisi dapat dikatakan bahwa film dengan pengaturan kuat arus 45 A pada alat penguapan hampa udara merupakan karakteristik optimum pertama. Kesimpulan yang diperoleh adalah film tipis CuPc dengan ketebalan akan meningkat, jika kuat arus yang diaplikasikan pada alat penguapan ruang hampa juga ditingkatkan. Pembuatan OFET berbasis CuPc dilakukan dengan membuat struktur *bottom-contact*. Proses diawali dengan pencucian substrat Si/SiO₂ dengan etanol dalam *ultrasonic cleaner*. Untuk struktur *bottom-contact*, setelah dilakukan pencucian substrat selanjutnya mendeposisikan elektroda *source/drain* di atas lapisan SiO₂ menggunakan bahan emas murni dengan metode lithography.

Kata kunci : Copper Phthalocyanine(CuPc), film tipis CuPc, vacuum evaporator

PENDAHULUAN

Sebuah wacana baru bagaimana membangun dunia yang berkelanjutan pun menjadi bahasan yang sangat penting untuk dirumuskan. Sebuah pertemuan tingkat dunia bahkan digagas untuk membuat kesepakatan terhadap setiap negara di dunia tentang sejauh mana kandungan zat buang yang boleh diproduksi oleh masing masing negara, yang dikenal dengan Kyoto protocol. Dalam *protocol* yang ditandatangani oleh sekitar 180 negara pada Desember 1997 ini disepakati bahwa negara-negara yang memproduksi gas berbahaya (yang dikenal dengan sebutan greenhouse gas) diharuskan untuk mengurangi emisinya hingga 5.2% tahun 2012 ([kyoto-e.html](#)).

Salah satu isyu besar dalam pengembangan IPTEK dan industri di berbagai belahan dunia saat ini adalah permasalahan yang berkenaan dengan isyu lingkungan hidup. Isyu ini menyangkut bagaimana kondisi lingkungan yang ada saat ini dapat terus terkontrol sehingga tidak berbahaya

bagi manusia maupun makhluk hidup lainnya. Permasalahan ini mengemuka ketika para peneliti mendapati bahwa tingkat pencemaran udara akibat berbagai kegiatan industri dan rumah tangga sudah mencapai ambang batas yang membahayakan.

Sebuah wacana baru bagaimana membangun dunia yang berkelanjutan pun menjadi bahasan yang sangat penting untuk dirumuskan. Sebuah pertemuan tingkat dunia bahkan digagas untuk membuat kesepakatan terhadap setiap negara di dunia tentang sejauh mana kandungan zat buang yang boleh diproduksi oleh masing masing negara, yang dikenal dengan Kyoto protocol. Dalam *protocol* yang ditandatangani oleh sekitar 180 negara pada Desember 1997 ini disepakati bahwa negara-negara pemroduksi gas berbahaya (yang dikenal dengan greenhouse gas) diharuskan untuk mengurangi emisinya hingga 5.2% hingga tahun 2012 ([kyoto-e.html](#)).

Gas NO_x termasuk NO dan NO_2 dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan. Pembentukan asap yang biasa dijumpai di kota-kota besar terdiri dari NO, dimana jika terhirup sekitar 50-100 ppm untuk beberapa menit dapat menyebabkan radang paru-paru selama 6-9 minggu. Paparan langsung sebanyak 150-200 ppm dapat menyebabkan kombinasi antara gas NO_x , maupun hidrokarbon yang bereaksi dengan sinar ultraviolet. Asap fotokimia menyebabkan iritasi mata dan paru-paru, menurunkan penglihatan, bahkan dapat menyebabkan senyawa korosi. Warna coklat dari asap kebanyakan berasal dari gas nitrogen dioksida (NO_2). Gas NO_2 ini lebih beracun daripada gas *brochiolitis fibrosa obliterans* yang sangat fatal selama 3 hingga 5 minggu, dan paparan sebanyak 500 ppm dapat menyebabkan kematian dalam waktu 2 hingga 10 hari [17].

Pengembangan dan miniaturisasi sensor kimia untuk mendeteksi berbagai macam gas sangat pesat dalam dekade terakhir ini. Hal ini diakibatkan 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 dalam kendaraan bermotor, untuk mendeteksi asap, memonitor emisi gas pada proses industrial seperti pembangkit listrik dan memonitor degradasi oli mesin [18].

Penelitian dan perhatian tentang transistor efek medan organik atau *organic field effect transistor* (OFET) sangat intensif sejak satu dasawarsa belakangan ini. Hal ini karena adanya beberapa keunggulan OFET jika dibandingkan dengan transistor efek medan anorganik berbasis silikon, yaitu suatu piranti elektronika yang ramah lingkungan, mudah didapat dan murah dalam fabrikasi serta hemat dalam operasionalnya, sehingga terbuka peluang untuk menjadi dasar teknologi mikroelektronika masa depan. Tetapi, karena mobilitas pembawa muatan pada OFET ini umumnya masih rendah, maka perlu terus dilakukan penelitian untuk perbaikan.

Selama beberapa tahun terakhir, unjuk kerja dari OFET secara kontinu telah mengalami perbaikan hingga mengarah kepada penerapan pada bidang industri. Dengan potensi yang sangat besar sebagai komponen elektronika masa depan yang sangat murah dan sebagai kartu cerdas (smart-card) misalnya, maka polimer yang dapat diproses dengan metode pelarutan (*solution process*) dapat dimanfaatkan sebagai pengganti teknologi silikon yang mahal [5].

Pada umumnya, suatu transistor efek medan terdiri dari beberapa komponen dasar, meliputi : bahan konduktor, bahan isolator dan bahan semikonduktor. OFET berbasis CuPs merupakan jenis transistor dimana bahan semikonduktornya adalah bahan organik atau polimer. Namun, jika dibandingkan dengan jenis transistor anorganik, mobilitas pembawa muatan OFET pada umumnya masih sangat rendah berkisar antara 10^{-5} - $10^0 \text{ cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ [3].

Sebagai tambahan, beberapa saat yang lalu, material tersebut sedang dieksplorasi karakteristiknya sebagai sensor gas maupun sebagai material semikonduktor organik [5]. Karena masih rendahnya mobilitas, maka dalam bidang elektronika, OFET belum bisa diterapkan secara baik, kecuali sebagai komponen pengendali pada *layer display*. Pada penelitian ini menggunakan material semikonduktor adalah CuPc (*Copper Phthalocyanine*).

METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan menggunakan bahan *Copper Phthalocyanine*(CuPc) sebagai semikonduktor organik aktif untuk pembuatan OFET dan dimanfaatkan sebagai sensor gas . Untuk penumbuhan film tipis berbasis CuPc menggunakan metode penguapan hampa udara pada suhu ruang. Hasil dari penumbuhan film tipis yang optimum dimanfaatkan sebagai bahan aktif dalam pembuatan OFET sebagai sensor gas. Untuk selengkapnya, desain dan metode penelitian adalah sebagai berikut:

A. Penumbuhan Film Tipis CuPc

Penumbuhan film tipis CuPc di atas substrat SiO₂ dengan metode penguapan hampa udara (*Model JEOL JEE-4X*) telah dilaksanakan dan dikarakterisasi dengan menggunakan XRD dan SEM. Aktivitas ini merupakan langkah awal untuk mengembangkan sensor gas berbasis CuPc. Penumbuhan film tipis dilakukan dengan 2 variabel penelitian, yaitu waktu deposisi dan kuat arus yang diaplikasikan pada alat *vacuum evaporator*.

Penelitian ini menggunakan bahan semikonduktor organik yang digunakan untuk penumbuhan film tipis. Material CuPc berbentuk serbuk dan merupakan semikonduktor tipe p serta berwarna biru. Selanjutnya dilakukan penumbuhan film tipis dengan cara mendeposisikan CuPc di atas substrat kaca dengan metode penguapan hampa udara pada suhu ruang. Selanjutnya dilakukan penumbuhan film tipis dengan prosedur sebagai berikut : a) preparasi sampel, b) proses evaporasi/deposisi lapisan CuPc, c) variasi waktu deposisi, d) variasi kuat arus/laju deposisi (35A, 40A, 45A, 50A):

B. Uji karakteristik film tipis

Selanjutnya, film tipis CuPc yang sudah ditumbuhkan dengan penguapan ruang hampa udara diuji karakteriknya, agar didapatkan bahan aktif optimum untuk pembuatan OFET sebagai gas . Ada 2 macam pengujian, yakni : pengujian morfologi film tipis dengan XRD dan struktur kristalnya dengan SEM

C. Pembuatan OFET berbasis Copper Phthalocyanine

Penelitian ini akan membuat OFET berstruktur *bottom-contact* dengan variasi saluran L, yaitu jarak antara S dan D serta 2 macam kontak resistansi. Adapun tahapan pembuatannya, adalah sebagai berikut : mula-mula dilakukan pencucian substrat Si/SiO₂ dengan *etanol* dalam *ultrasonic cleaner*, selanjutnya dilakukan pendeposisian elektroda *source/drain* di atas lapisan SiO₂ menggunakan bahan emas murni (Au) dengan metode lithography dan mendeposisikan film tipis CuPc.

D. Karakterisasi OFET sebagai sensor gas

- Untuk mengkarakterisi OFET, elektroda S dihubungkan dengan tanah sedangkan elektroda G dan D dihubungkan dengan panjar mundur (*reverse bias*).
- Untuk mengukur mobilitas pembawa muatan, maka arus yang mengalir dari *source* ke *drain* (I_d) diukur dengan memvariasi tegangan *drain* (V_d) untuk setiap nilai tegangan gate (V_g), sesuai dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_d = \frac{WC_i}{L} \mu \left(V_g - V_t - \frac{V_d}{2} \right) V_d$$

- Dimana L dan W adalah panjang dan lebar *channel*, C_i adalah kapasitansi per satuan luas material isolator, μ adalah mobilitas pembawa muatan dan V_t adalah tegangan ambang.
- Untuk mengukur resistansi digunakan konfigurasi devais OFET dengan *four point probe*. Tujuan pokok dari pengukuran seperti itu adalah untuk menghilangkan efek dari kontak

resistansi pada elektroda dalam, sebab terhubung masukan yang mempunyai impedansi tinggi dan arus tidak dapat menerobos.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, material penelitian ini menggunakan *copper phthalocyanine* (CuPc) yang dibeli dari Sigma-Aldrich tanpa adanya pemurnian. Sebelum mendeposisikan film, dilakukan preparasi sampel dengan tahapan sebagai berikut: pertama melakukan pemotongan kaca preparat berukuran (1,5 x 2,5) cm dan kedua, kaca preparat dibersihkan dengan prosedur standar dengan menggunakan alat *Ultrasonic Cleaner Model Core-Parmer* [20].

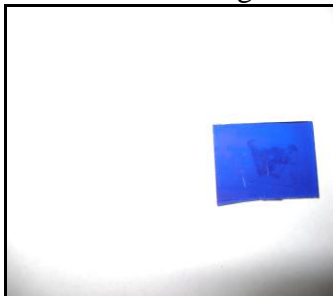
Penumbuhan film di atas substrat kaca dilakukan dengan 2 variasi untuk menentukan variasi waktu dan variasi kuat arus. Hasil pendeposisian film diperoleh 8 sampel penelitian, yaitu 4 sampel merupakan variasi kuat arus (35 A, 40A, 45 A, 50 A) dan 4 sampel variasi waktu (30, 60, 90, 120) menit. Dari 8 sampel kemudian dilakukan dikarakterisasi struktur kristalnya dan morfologi film. Untuk pengujian struktur kristal dengan X-RD, sedangkan pengujian morfologi menggunakan SEM.

Untuk mengukur resistansi digunakan konfigurasi devais OFET dengan *four point probe*. Tujuan pokok dari pengukuran seperti itu adalah untuk menghilangkan efek dari kontak resistansi pada elektroda dalam, sebab terhubung masukan yang mempunyai impedansi tinggi dan arus tidak dapat menerobos

Pembuatan OFET dilakukan dengan membuat struktur *top-contact* saja, dengan tahapan sebagai berikut: setelah substrat Si/SiO₂ dibersihkan, kemudian dilakukan pendeposisian elektroda S/D di atas lapisan SiO₂ dengan emas dan menggunakan metode litografi. Untuk panjang dan lebar kanal, masing-masing adalah 100 µm, 200 µm, 300 µm, dan 1 mm.

Hasil deposisi film tipis CuPc

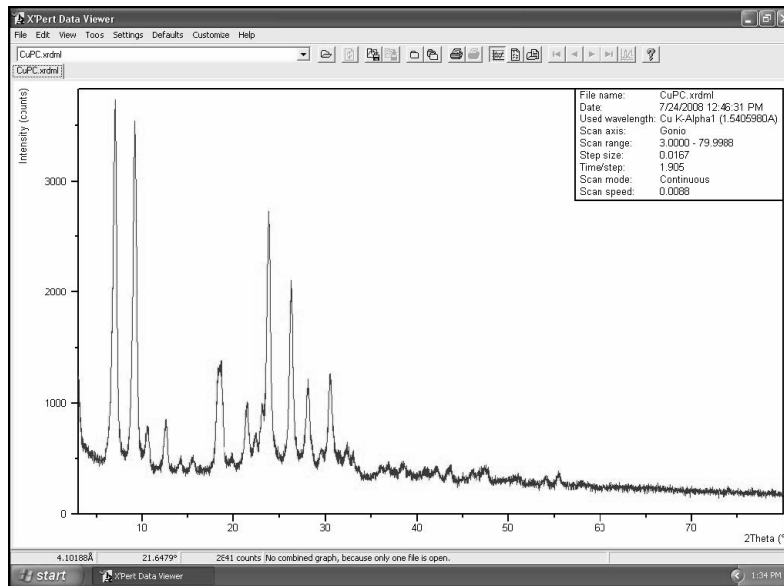
Gambar 1. merupakan salah satu sampel (dari 8 sampel) hasil pendeposisian film tipis diatas substrat kaca dengan ukuran (1,5 x 2,5) cm.



Gambar 1. Hasil deposisi film tipis diatas susbrat kaca

Hasil karakterisasi film tipis CuPc menggunakan X-RD

Struktur kristal merupakan salah satu parameter yang penting untuk mempelajari karakteristik dari bahan organik, terutama berkaitan dengan sifat listrik. Spektrum XRD dari serbuk CuPc ditunjukkan pada gambar 2, yang mana menunjukkan dengan jelas bahwa adanya struktur kristal.

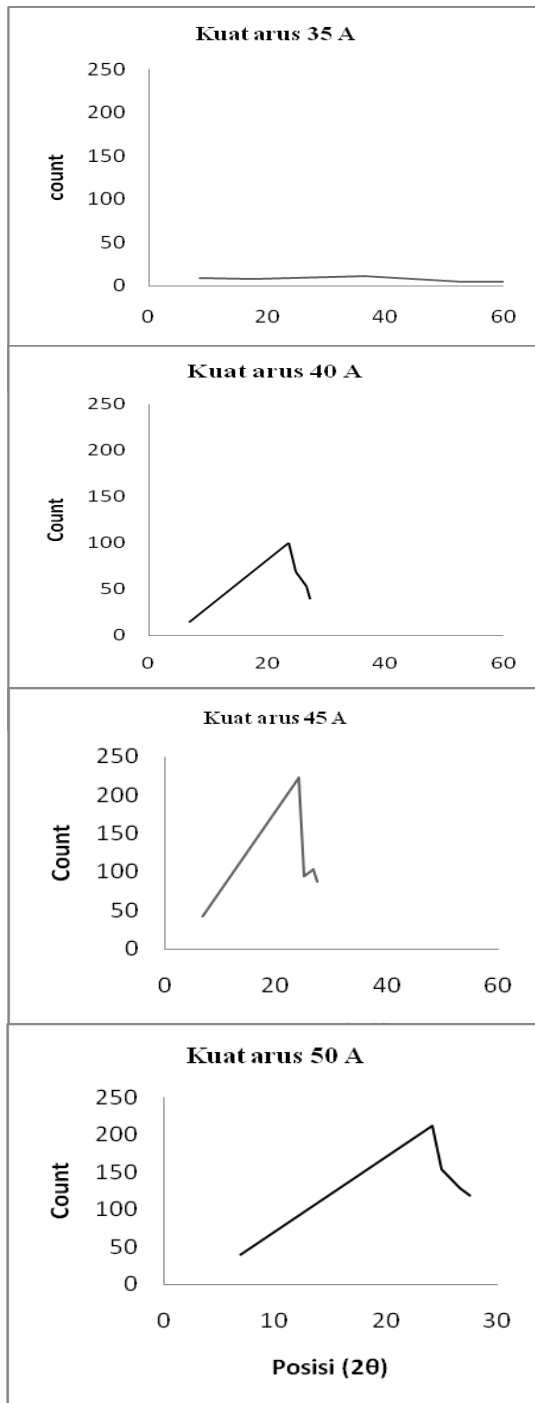


Gambar 2. Spektrum XRD dari Serbuk CuPc

Table 1. Puncak difraksi X-RD dari serbuk dan film tipis CuPc

Kuat Arus (A)	Puncak XRD				Gambar
	2 Theta (°)	Tinggi(count)	FWHM (°)	D (Å)	
	7,0961	2077,02	0,3080	12,45	4
	23,8164	1547,06	0,3080	3,73	
	26,2519	1139,04	0,3080	3,39	
	28,0725	536,12	0,3080	3,18	
	30,4640	608,44	0,3080	2,93	
35	-	-	-	-	5(a)
40	6,8762	13,88	0,6528	12,84	5(b)
	23,6716	100,12	0,4896	3,76	
	24,9316	68,38	0,4896	3,57	
	26,6752	52,86	0,4896	3,34	
45	27,4005	39,42	0,2856	3,25	5(c)
	6,7757	42,37	0,6160	13,04	
	24,0217	222,97	0,4488	3,70	
	25,0321	94,54	0,3264	3,55	
50	26,6408	103,91	0,3264	3,34	5(d)
	27,5530	86,96	0,2448	3,23	
	6,8306	39,22	0,2448	12,93	
	24,0865	212,68	0,2448	3,69	
	25,0294	154,57	0,4080	3,55	
	26,6507	129,03	0,2448	3,34	
	27,5821	118,55	0,3264	3,32	

Penumbuhan film dengan metode penguapan hampa udara (*Model JEOL JEE-4X*) telah dilaksanakan. Aktivitas ini merupakan langkah awal untuk mengembangkan sensor gas. Hasil spektrum dari X-RD diperoleh bahwa film yang dideposisikan dengan kuat arus 35 A–50 A menunjukkan adanya peningkatan kristal pada film.



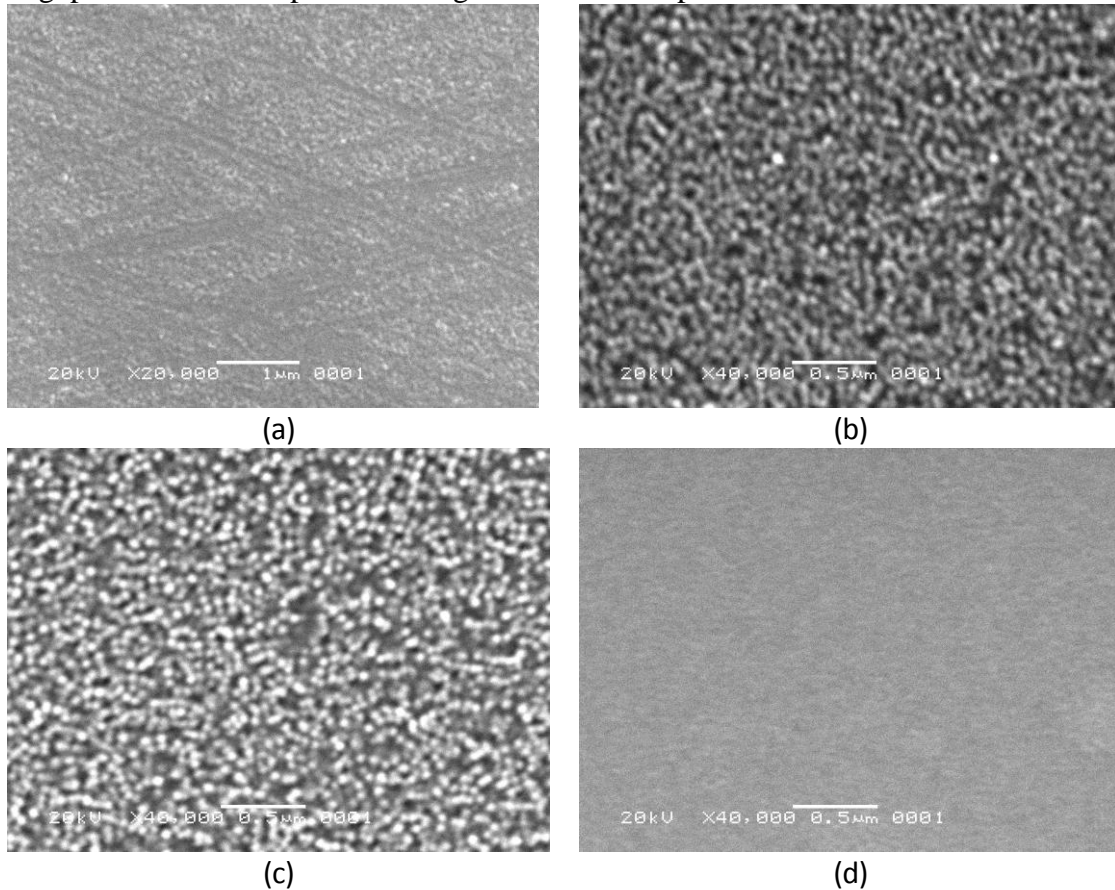
Gambar 3. Spektrum XRD film tipis CuPc dengan variasi deposisi kuat arus

Berdasarkan data spektrum XRD dapat dipelajari kualitas kristal film dengan cara menghitung besarnya (FWHM, seperti ditunjukkan pada tabel 2. Besarnya FWHM dari puncak XRD film tipis CuPc terlihat menurun seiring bertambahnya kuat arus yang diberikan pada vakum evaporasi. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas kristal semakin membaik dengan penambahan kuat arus pada alat penguapan hampa udara.

Tabel.2. Kuat arus sebagai parameter deposisi film tipis CuPc

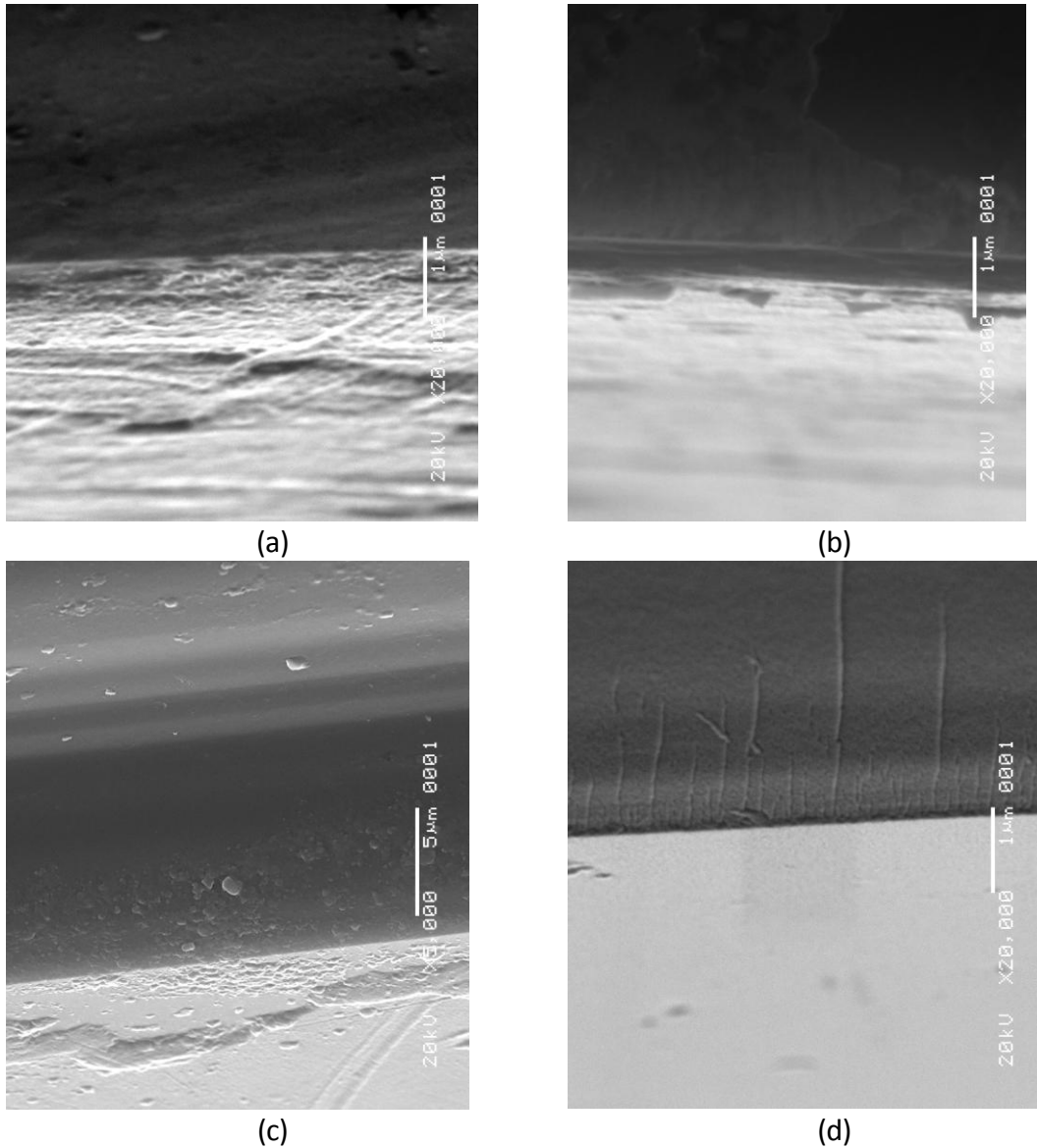
No	Arus Deposisi (A)	FWHM
1	40	0,4896
2	45	0,4488
3	50	0,24448

Morfologi permukaan film tipis CuPc dengan variasi waktu pada kuat arus 35 A



Gambar 4. Hasil SEM dengan variasi waktu pada saat penumbuhan film tipis CuPc , (a): 30 menit ,(b) 60 menit, (c):90 menit dan (d) : 120 menit

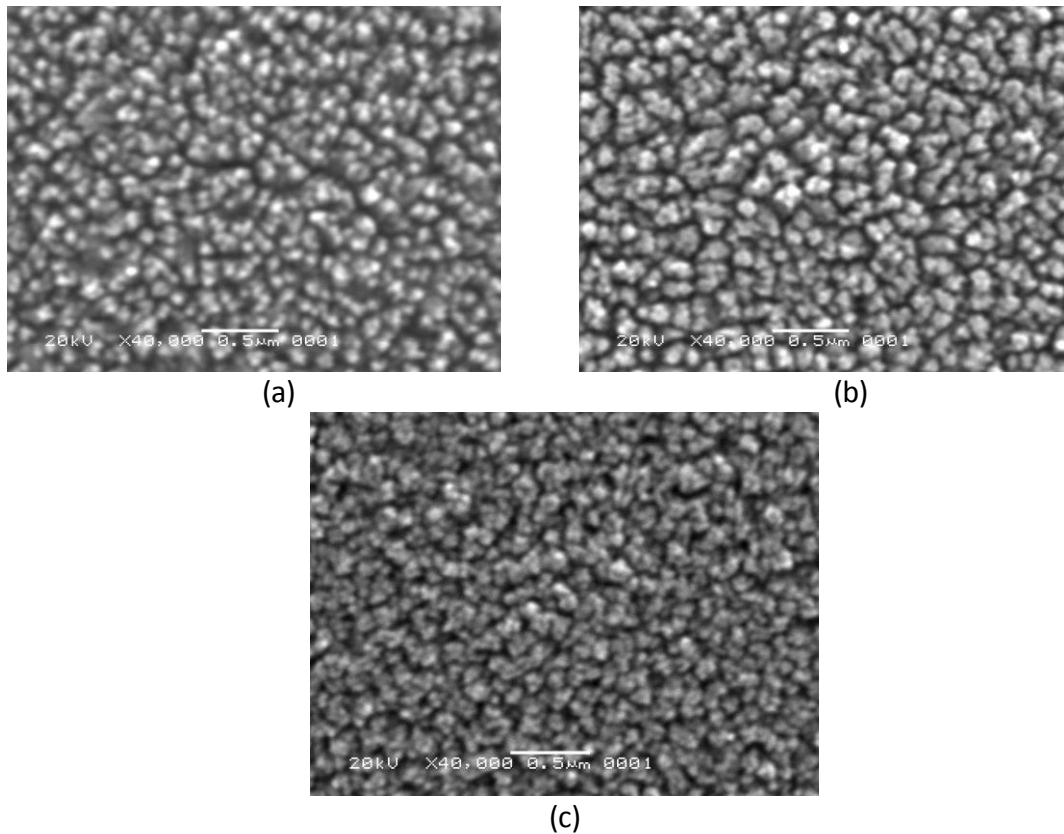
Gambar 4. memperlihatkan karakterisasi SEM dengan variasi waktu pada saat penumbuhan film . Hasil SEM diperoleh bahwa penumbuhan film CuPc dengan kuat arus 35 A dan variasi waktu, yaitu : 30 menit ,60 menit, :90 menit dan 120 menit menunjukkan permukaan film dengan butiran lembut. Ini menunjukkan bahwa variasi waktu pada saat penumbuhan belum menunjukkan karakteristi kristal yang optimum.



Gambar 5. Hasil SEM penampang melintang film tipis dengan variasi waktu pada aplikasi kuat arus 35 A , (a) : 30 menit , (b) : 60 menit, (c) : 90 menit dan (d) : 120 menit

Hasil karakteristik gambar dari SEM, yaitu pada penampang melintang dari permukaan film tipis CuPc dapat dilihat pada (gambar 3.) di atas , dengan variasi waktu : (a): 30 menit ,(b) 60 menit, (c):90 menit dan (d) : 120 menit dan aplikasi kuat arus 35 A pada alat vakum evaporasi. Studi morfologi film tipis CuPc dapat menentukan ketebalan dari film tipis yang akhirnya dapat menghitung laju penumbuhan film tipis CuPc.

Morfologi permukaan film tipis CuPc dengan variasi kuat arus



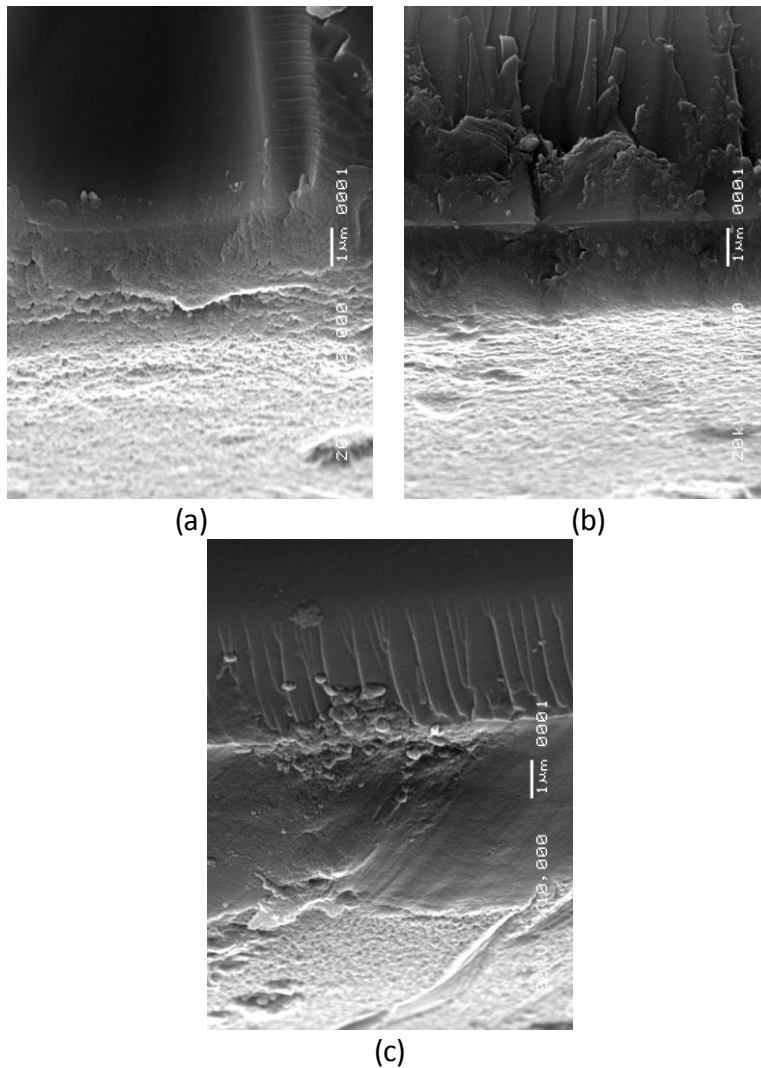
Gambar 6. Hasil SEM pada permukaan film tipis CuPc dengan variabel kuat arus pada alat vakum evaporasi, (a): 40 A, (b) : 45 A dan (c) : 50 A

Gambar 6(a) memperlihatkan morfologi permukaan film yang ditumbuhkan pada kuat arus 40 A. Dari gambar terlihat bahwa film yang terbentuk mempunyai ukuran butiran yang kecil. Disamping itu pada permukaan juga masih terdapat banyak porositas. Banyak porositas yang terdapat pada permukaan film ini disebabkan karena tidak menempelnya ikatan yang terbentuk.

Gambar 6(b) memperlihatkan hasil karakterisasi SEM untuk kuat arus 45 A.pada saat penumbuhan film tipis. Dari gambar terlihat bahwa butiran butiran sudah mulai rapat dan mempunyai ukuran lebih besar, sebagian berbentuk butiran kecil.

Gambar 6(c) memperlihatkan hasil SEM untuk penumbuhan film dengan kuat arus 50 A saat penumbuhan. Butiran terlihat semakin homogen dan merata seluruh permukaan . Butiran tadinya kecil kini telah menyatu membentuk ukuran butiran yang lebih besar. Ini menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus pada saat penumbuhan dapat memperbaiki kualitas permukaan film tipis.

Penampang melintang film tipis CuPc dengan variasi waktu pada kuat arus

















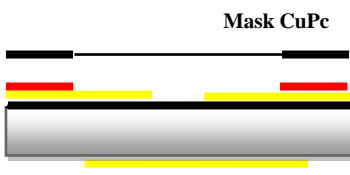
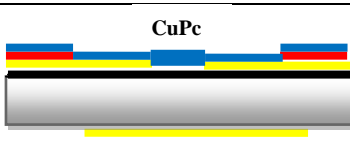
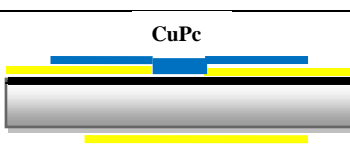
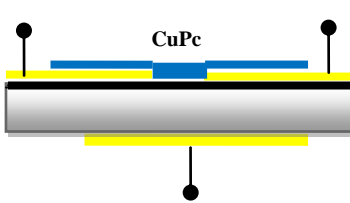
Gambar 7. Hasil SEM penampang melintang dari film tipis dengan variasi kuat arus : (a):40 A , (b) : 45 A dan (c) : 50 A

Dari hasil SEM penampang melintang film tipis dapat ditentukan ketebalan film yang akhirnya dapat dihitung laju penumbuhan film tipis CuPc. Gambar 7 menunjukkan penampang melintang film tipis yang dideposisi dengan kuat arus yang bervariasi yaitu 40 A, 45 A dan 50 A dengan ketebalan masing-masing adalah berturut-turut 2,1 μm , 2,4 μm dan 4,8 μm . Dari gambar 9 terlihat bahwa terjadi peningkatan laju deposisi dari kuat arus 40 A ke 45 A dan 45 A ke 50 A. Hal ini diperkirakan karena dengan semakin meningkatnya kuat arus, maka semakin banyak ikatan yang terbentuk pada substrat.

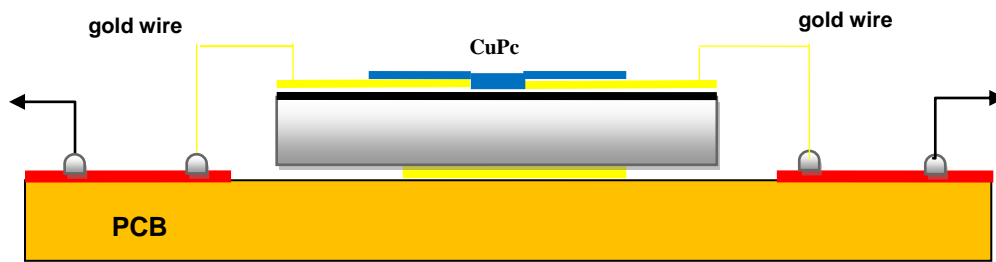
Hasil pembuatan OFET berbasis CuPc sebagai sensor gas

Proses lithography dalam proses pembuatan divais semikonduktor organik merupakan bagian yang penting dimana geometri divais ditentukan pada permukaan wafer Si. Pembuatan divais semikonduktor terdiri atas berulang kali proses lithography, seperti dalam langkah proses pembukaan gerbang untuk difusi, oksidasi. Langkah-langkah proses lithography, adalah sebagai berikut:

No	Proses	Disain	Equipment	Parameter
1	Persiapan substrat		Silicon Wafer (Single Side Polishing)	Thickness = 600 μm Diameter 5 inchi Type P
2	Proses Oksidasi pada silicon Wafer		Si O_2 Thermal Dry Oxidation	Waktu Temperatur
3	Proses etching pada lapisan bawah SiO_2		SiO_2 Buffer HF	Temperatur Konsentrasi
4	Pelapisan Au dengan metode Evaporasi		Au SiO_2 Alat vakum evaporasi	Tekanan (8.10^{-4} Pa) Kuat arus (45 A)
5	Pelapisan photoresist positif AZ dengan metode Spinner		Photoresist positif AZ Clean Oven Teknologi spinner Alat vakum	Kecepatan (400 rpm) Waktu (30 detik) Temperatur (85°C)
6	Expose dengan sinar UV (masker 1)		Sinar UV Masker 1 (source dan drain) Larutan Timah $\text{D}_2\text{H}_2\text{O}$ Alat Milla Pure (18 mohm) Larutan Microposit MF 319 Developer	Waktu expose (30 s) Temperatur oven (120°C) Selama 15 menit
7	Proses etching emas (Au)		$\text{KJ} + \text{J}_2 + \text{D}_2\text{H}_2\text{O}$ Emas(Au)	Waktu Temperatur
8	Remove resist positif AZ dengan acetone		Acetone (ZA Acs.150) CH_3COOH_3 (58,08 g/mol)	Waktu Temperatur
9	Proses pelapisan emas(Au) pada bagian bawah silicon dengan metode vakum evaporasi		Au SiO_2 Alat vakum evaporasi	Tekanan (8.10^{-4} Pa) Kuat arus (45 A)
10	Pelapisan photoresist positif AZ dengan metode Spinner pada lapisan Au		Photoresist positif AZ Clean Oven Teknologi spinner Alat vakum	Kecepatan (400 rpm) Waktu (30 detik) Temperatur (85°C)

11	Expose dengan sinar UV selama 30 detik menggunakan masker 2 (gate)		Sinar UV Masker 1 (source dan drain) Larutan Timah DiH ₂ O Alat Milla Pure (18 m ohm) Larutan Microposit MF 319 Developer	Waktu expose (30 s) Temperatur oven (120 ⁰ C) Selama 15 menit
12	Proses etching emas (Au)		KJ +J ₂ +D ₁ H ₂ O Emas(Au)	Waktu Temperatur
13	Remove resist positif AZ dengan Aceton		Aceton (ZA Acs.150) CH ₃ COOH ₃ (58,08 g/mol)	Waktu Temperatur
14	Pelapisan photoresist positif AZ dengan Au pada lapisan atas (S dan D) menggunakan Spinner		Photoresist positif AZ Clean Oven Teknologi spinner Alat vakum	Kecepatan (400 rpm) Waktu (30 detik) Temperatur (85 ⁰ C)
15	Expose dengan sinar UV menggunakan masker CuPc		Sinar UV Masker 1 (source dan drain) Larutan Timah DiH ₂ O Alat Milla Pure (18 m ohm) Larutan Microposit MF 319 Developer	Waktu expose (60 s) Temperatur oven (120 ⁰ C) Selama 15 menit
16	Proses pelapisan CuPc pada bagian atas silikon dengan metode vakum evaporasi		Au SiO ₂ Alat vakum evaporasi	Tekanan (8.10 ⁻⁴ Pa) Kuat arus (45 A)
17	Remove resist positif AZ dengan Aceton.Sekaligus lapisan CuPc pada resist tersebut sehingga pola CuPc terbentuk		Aceton (ZA Acs.150) CH ₃ COOH ₃ (58,08 g/mol)	Waktu Temperatur Konsentrasi larutan
18	Hasil akhir terbentuknya kontak source, drain dan gate.		Elektrode emas Terminal dari emas	Tekanan (8.10 ⁻⁴ Pa) Kuat arus (45 A)

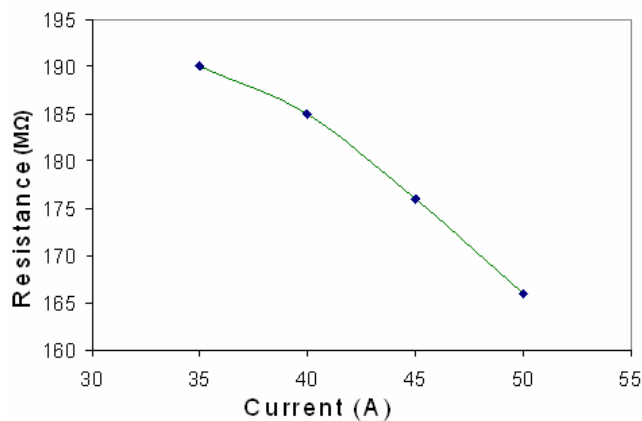
Hasil terbentuknya OFET yang dipasang di atas PCB dengan menggunakan gold wire dan silver pasta sebagai kontak. Kemudian dari kontak PCB dapat langsung di pasang kabel untuk siap melakukan pengukuran untuk karakterisasi OFET



PEMBAHASAN

Berkaitan dengan sistem penguapan ruang hampa udara, belum dilakukan penelitian secara sistematis berkaitan dengan pengaruh struktur kristal dan struktur permukaan film tipis CuPc terhadap kecepatan deposisi film tipis berbasis CuPc. Oleh karena itu, perlu adanya penelitian tentang pengaruh ketebalan dan struktur kristal terhadap kecepatan deposisi film tipis secara sistematis. Dalam hal ini, kita dilakukan dengan memvariasi kuat arus dari sistem alat penguap ruang hampa yang diaplikasikan boats selama penguapan. Kita berasumsi bahwa kuat arus yang tinggi akan mempercepat deposisi film tipis. Dalam rangka meneliti semua sampel penelitian digunakan *X-ray diffraction (XRD)* and *scanning electron microscopy (SEM)*.

Karakteristik elektrik dari OFET merupakan parameter penting untuk menentukan bahan semikonduktor aktif sebagai sensor gas. Perubahan tanggapan sensor gas mudah diamati dengan mengubah karakteristik elektriknya dengan mengubah hambatan listrik (R) dan tegangan (V) bahan semikonduktor. Resistansi film tipis dipengaruhi oleh kuat arus saat dilakukan deposisi, hal ini menunjukkan bahwa kecepatan deposisi menentukan resistansi. Bagaimanapun juga, saat sekarang penelitian tentang peristiwa ini masih belum jelaskan. Oleh sebab itu, studi lebih lanjut perlu dilakukan untuk menjelaskan pengaruh kecepatan deposisi terhadap karakteristik resistansi bahan semikonduktor aktif.



Gambar 8 .Pengaruh resistansi OFET terhadap kuat arus pada saat deposisi

Struktur kristal, morfologi permukaan, dan ketebalan film tipis CuPc telah dilakukan penelitian dengan menggunakan spektrum dari XRD dan gambar SEM. Gambar dari SEM maupun spectrum XRD keduanya menunjukkan bahwa kualitas struktur kristal dan *grain size* dari film tipis CuPc meningkat dengan meningkatnya kuat arus yang diaplikasikan pada *boat* sistem vakum evaporasi. Berdasarkan dari hasil ini, kita dapat menyatakan bahwa film tipis CuPc yang dideposisikan dengan menerapkan kuat arus 45 A adalah film tipis optimum pertama. Dari

pengukuran bahan elektrik didapatkan bahwa resistansi film tipis CuPc akan berkurang dengan adanya peningkatan kecepatan deposisi. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa dengan adanya peningkatan kuat arus pada alat vakum evaporasi akan menyebabkan turunnya resistansi film tipis CuPc.

Seperti telah diuraikan sebelumnya, material yang digunakan riset ini adalah copper phthalocyanine (CuPc) yang telah dibeli dari Sigma-Aldrich tanpa pemurnian. Sebelum mendeposisikan film tipis CuPc, kita siapkan preparasi substrat kaca, dengan langkah sebagai berikut : pertama, substrat dari kaca untuk ukuran $(1.5 \times 2.5) \text{ cm}^2$, dan kedua membersihkannya dengan suatu prosedur standard dalam *ultrasonic cleaner bath*.

Pada (gambar.3) menunjukkan bahwa film tipis hasil deposisi dengan menerapkan kuat arus sebesar 35 A tidak terlihat adanya struktur kristal, sehingga film tipis mempunyai struktur amorf. Ketika kuat arus ditingkatkan menjadi 40A, 45 A dan 50 A tampak adanya puncak dominan yang berkaitan dengan bidang kristal.

Beberapa puncak spektrum XRD mulai nampak. Puncak spektrum semakin naik apabila kuat arus pada saat deposisi juga ditingkatkan (gambar 3). Puncak spektrum XRD mulai nampak pada saat mendeposisikan film dengan memberikan kuat arus sebesar 40 A pada alat penguapan hampa udara. Struktur kristal film tipis CuPc hasil deposisi menunjukkan kualitas yang lebih rendah dari serbuk CuPc.

Tabel 2. , menunjukkan bahwa intensitas puncak meningkat dengan berkurangnya FWHM ,jika kuat arus yang diterapkan pada penguapan hampa udara ditingkatkan. Kristal dan grain size akan meningkat,jika kuat arus juga ditingkatkan pada saat mendeposisikan film tipis CuPc.

Spektrum XRD dari film tipis CuPc dideposisikan dengan bermacam-macam kuat arus Nampak bahwa satu puncak pada $2\theta = 6,78^\circ - 6,87^\circ$ ($D = 12.84-13.04 \text{ \AA}$). Jarak inter-planar ini adalah jarak diantara atom Cu. Tinggi puncak difraksi dari spektrum XRD dari film tipis CuPc teramati pada $2\theta = 23,67^\circ - 27,58^\circ$ ($D = 3,23 - 3,76 \text{ \AA}$). Jarak ini sesuai dengan jarak antara *phythalocyanine macrocycles* di dalam phase α atau β ($=3,4 \text{ \AA}$). Pada saat digunakan suatu powder diffractometer hanya dapat mengamati jarak antar bidang paralel pada permukaan substrat . Oleh karena itu kita dapat berasumsi bahwa film tipis CuPc hasil deposisi adalah di dalam α atau β , dengan poros tegak lurus dengan substrat dan CuPc terletak paralel pada bidang substrat.

Hasil dari SEM diperoleh bahwa penumbuhan film tipis CuPc dengan kuat arus 35 A menunjukkan permukaan lembut. Sedangkan butiran pada film tipis nampak dengan jelas ketika film tipis dideposisikan dengan kuat arus 40 A dan 55 A. Ketebalan film tipis CuPc yang dideposisikan dengan pengaturan kuat arus 40 A, 45 A dan 50 adalah berturut-turut 2,1 μm , 2,4 μm dan 4,8 μm . Film tipis CuPc yang didasarkan pada hasil deposisi dapat dikatakan bahwa film tipis dengan pengaturan kuat arus 45 A merupakan karakteristik optimum yang pertama .

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Penumbuhan film tipis CuPc dilakukan dengan 2 variabel penelitian, yaitu waktu deposisi dan kuat arus pada alat *vacuum evaporator*. Karakteristik film tipis CuPc telah dianalisis didasarkan pada struktur mikro dengan menggunakan *X-Ray Diffraction* (X-RD) and *Scanning Electron Microscopy* (SEM). Selanjutnya hasil X-RD untuk masing-masing sample telah dianalisis oleh ICDD (*International Centre for Diffraction Data*). Pada sisi lain, permukaan dan ketebalan film tipis CuPc dianalisis dengan gambar hasil dari SEM. Hasil spektrum dari X-RD diperoleh bahwa film CuPc dideposisikan dengan kuat arus 35 A – 50 A menunjukkan adanya peningkatan kristal dalam film tipis CuPc.

Saran

Ketebalan film dengan pengaturan kuat arus 40 A, 45 A dan 50 A adalah berturut-turut 2,1 μm , 2,4 μm dan 4,8 μm . Film tipis CuPc yang didasarkan pada hasil deposisi dapat dikatakan bahwa film dengan pengaturan kuat arus 45 A pada alat penguapan hampa udara merupakan karakteristik optimum pertama. Kesimpulan yang diperoleh adalah film tipis CuPc dengan ketebalan akan meningkat, jika kuat arus yang diaplikasikan pada alat penguapan ruang hampa juga ditingkatkan. Hasil penumbuhan film tipis CuPc yang optimum akan dimanfaatkan untuk pembuatan OFET sebagai sensor gas.

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
- 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
- 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.
- 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.]
- Dimitrakopoulos, C.D. and Mascaro, D.J., 2001, *Organic thin-film transistors, A review of recent advances*, *IBM J. Res. & Dev.*, 45, 11.
- 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.
- Hang Chen, 2006, *Modulation Effect On Organic Electronics (Thesis)*, School of Chemistry and Biochemistry Georgia Institute of Technology
- 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.
- Law, K.Y., 1993, *Organic photoconductive materials recent trends and developments*, *Chem. Rev.* 93_1993.449–486.
- Leznoff, C.C., Lever, A.B.P., 1989, *Phthalocyanines, Properties and Applications 1–3 VCH*
- Manahan, S.E., 1994, *Environmental Chemistry: 6th Edition*. Florida: CRC Press Inc., 327.
- Martin, M., Andre, J.J., Simon, J., 1981, *Organic solar-cells based on metallophthalocyanine semiconductors*, *Nouv. J. Chim.* 5- 485–490.
- Mirwa, A., Friedrich, M., Hofman, A., 1995, *Sensors and Actuator*, B24-25, 596
- Newton, M.I., Starke, T.K.H., Willis, Mr., McHale, G., 2000, *NO₂ detection at room Temperatur with copper phthalocyanine thin film devices*, *Sensor and Actuators B* 67_ 307-311
- Radhakrishnan, R. and Deshpande, S.D., 2002, *Conducting Polymers Functionalized with Phthalocyanine as Nitrogen Dioxide Sensors*, *Sensor*, 2, 185- 194
- Roto, Triyana, K. dan R. Sudirman, R., 2000, *Pengaruh konsentrasi pembawa muatan pada laju tanggap polianilin sebagai dasar sensor gas*, Laporan penelitian Fundamental Nomor: 16/P2IPD/DPPM/VI/1999
- Triyana, K., Apriadi, E. P. dan Aggraeni, S., 2005, *Karakteristik transistor efek medan berbasis Cu-phthalocyanine*, (akan diterbitkan dalam jurnal Fisika Indonesia).

- Triyana,K., dan Sudirman,R., 1998, *Fabrikasi sensor gas dengan polianilin*, Laporan penelitian anggaran rutin UGM M.A.K 5250, Nomor: 25/J01.P2/KU/98
- Triyanab,K., Yasuda,T., Fujita,K. and Tsutsui,T, (2005), *Tandem-type organic solar cells by stacking different heterojunction materials*, Thin Solid Films, 477, 198– 202
- Whitlock,J.B.,Panayotatos,P.,Sharma,G.D.,Cox,M.D.,Sauers,R.R., Bird,G.R.,1993, *Investigations of materials and device structures for organic semiconductor solar-cells*, Opt. Eng. 32_1993.1921–1934.
- Zhou,R.,Josse,F.,Göpel,W.,Öztürk‡,Z.Z. and Bekaroglu\$, Ö, 1996, *Phthalocyanine as sensitiv material for chemical sensors*, Applied Organometallic Chemistry, Vol.10,557 – 577.