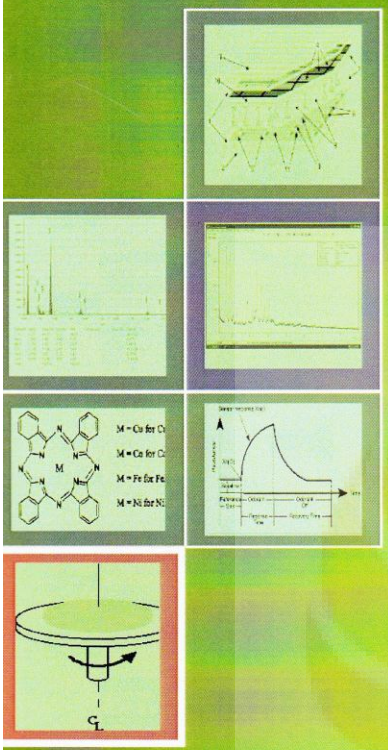


TRANSISTOR FILM TIPIS ORGANIK

Buku ini disajikan secara praktis dan lengkap sehingga membantu siswa, mahasiswa, dosen, guru serta praktisi industri. Penekanan yang dibahas buku ini membantu dan berperan sebagai sumbangsih pemikiran dalam pemecahan permasalahan pada transistor berbasis film tipis, karakterisasi dan aplikasi dalam bidang sensor gas. Oleh karena itu, buku ini disusun secara integratif antar disiplin ilmu yaitu bahan semikonduktor, metode deposisi film tipis, litografi, karakterisasi, elektronika serta aplikasi dalam deteksi gas, sehingga skill yang diperlukan terkait satu dengan lainnya.

Sujarwata
Fianti

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4
Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26
Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

TRANSISTOR FILM TIPIS ORGANIK

Sujarwata
Fianti

Desain Cover : Sujarwata
Tata Letak Isi : Nurul Fatma Subekti

Cetakan Pertama: Oktober 2017

Hak Cipta 2017, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2017 by Deepublish Publisher
All Right Reserved

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT DEEPUBLISH
(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)
Anggota IKAPI (076/DIY/2012)
Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman
Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581
Telp/Faks: (0274) 4533427
Website: www.deepublish.co.id
www.penerbitdeepublish.com
E-mail: cs@deepublish.co.id

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Katalog Dalam Terbitan (KDT)

SUJARWATA
Transistor Film Tipis Organik/oleh Sujarwata dan Fianti.--Ed.1, Cet. 1—Yogyakarta: Deepublish, Oktober 2017.

viii, 117 hlm.; Uk:20x29 cm

ISBN **978- 602-453-443-1**

1. Ilmu Pengetahuan Alam I. Judul
500

TRANSISTOR FILM TIPIS ORGANIK

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Sujarwata

Fianti

PRAKATA

Assalamualaikum Wr. Wb.
Alhamdulillahi robbil 'alamin. Segala puji HANYA bagi Allah SWT atas segala nikmat, rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku dengan judul **Sensor *Transistor Film Tipis Organik***. Dalam penyusunannya buku ini, penulis memperoleh banyak bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada: segenap dosen fisika FMPIA UNNES, teman-teman teknik elektro S2 dan Ilmu Fisika S3 Program Pascasarjan UGM.

Isi buku ini sengaja disajikan secara praktis dan lengkap sehingga dapat membantu para siswa, mahasiswa, dosen, guru serta para praktisi industri. Penekanan dan cakupan bidang yang dibahas dalam buku ini sangat membantu dan berperan sebagai sumbangsih pemikiran dalam mendukung pemecahan permasalahan yang muncul pada transistor berbasis film tipis, karakterisasi dan aplikasi dalam bidang sensor gas. Oleh karena itu, buku ini disusun secara integratif antar disiplin ilmu yaitu bahan semikonduktor, metode deposisi film tipis, litografi, karakterisasi, elektronika serta aplikasi dalam deteksi gas, sehingga skill yang diperlukan terkait satu dengan lainnya.

Tiada gading yang tak retak, begitu pula buku ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Untuk itu melalui kata pengantar ini penulis sangat terbuka menerima kritik dan saran membangun sehingga secara bertahap penulis dapat memperbaikinya. Saya ucapkan selamat membaca dan memahami teknik pembuatan transistor berbasisi film tipis yang dijelaskan dalam buku ini. Semoga bermanfaat dan bisa memberikan pencerahan bagi dosen, guru, mahasiswa dan pembaca yang mengawali untuk memahami film tipis sebgai sensor gas. Akhir kata penulis berharap agar buku ini bermanfaat bagi semua pembaca. Amiin Ya Robbal Alamin. Wassalamualaikum Wr.Wb

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Semarang, Oktober 2017

Sujarwata

Daftar Isi

1 PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Permasalahan 6

1.3 Penelitian Pemanfaatan Bahan Organik 6

1.4 Manfaat yang Diharapkan 10

2 TRANSISTOR EFEK MEDAN (FET) **11**

2.1 Dasar-dasar OFET 12

2.2 Material Untuk Pembuatan OFET 13

2.3 Resistansi Kontak OFET 14

2.4 Karakterisasi OFET 15

2.5 Uji Kinerja OFET Sebagai Sensor Gas 17

2.5.1 Waktu tanggap dan waktu pemulihan 18

3 MATERIAL SEMIKONDUKTOR **20**

3.1 Konduktor, Isolator dan Semikonduktor 20

3.2 Karakteristik Material Semikonduktor 21

3.3 Bahan Semikonduktor 22

3.3.1 Semikonduktor Intrinsik (murni) 22

3.3.2 Semikonduktor Ekstrinsik (Tak Murni) 23

3.3.3 Jenis Semikonduktor Ekstrinsik 24

4 SEMIKONDUKTOR ORGANIK CuPc **27**

4.1 Material *phthalocyanine* 27

4.2 Material *Copper phthalocyanine* (CuPc) 29

4.3 Struktur, reaktivitas dan sifat material *copper phthalocyanine* (CuPc) . . . 29

4.4 Kandungan unsur dalam CuPc 31

5 DEPOSISI FILM TIPIS **34**

5.1 Metode deposisi film tipis 35

5.2 Metode Deposisi *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD) . . 38

5.2.1 Metode PA-MOCVD 38

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

5.2.2 Metode *spin-coating* 40
5.2.3 Metode *sol-gel spin-coating* 43
5.2.4 Metode *dc magnetron sputtering* 44
5.2.5 Metode *Glow Discharge-Induced Sublimation* (GDS) 46
A. Tujuan aplikasi metode *Glow Discharge-Induced Sublimation* (GDS) 47
B. Proses deposisi film tipis CuPc dengan metode GDS 47
C. Eksperimen 48
D. Perbedaan hasil deposisi film tipis antara metode GDS dan VE . 49
5.2.6 Metode *vacuum evaporator*(VE) 49
Proses Pelapisan Pada Sistem Evaporasi 51
Deposisi Lapisan Tipis 52
5.2.7 Metode Deposisi CBD (*Chemical Bath Deposition*) 55
5.3 XRD (*X-ray diffraction*) 56
5.3.1 Prinsip kerja XRD (*X-ray diffraction*) 57
5.3.2 Data yang diperoleh dari XRD (*X-ray diffraction*) 60
5.3.3 Keuntungan penggunaan XRD (*X-ray diffraction*) 61
5.4 SEM (*Scanning Electron Microscope*) 61
5.4.1 Prinsip kerja SEM (*Scanning Electron Microscope*) 62
5.4.2 Kelebihan SEM (*Scanning Electron Microscope*) 63
5.4.3 SEM dilengkapi dengan ED-X 63

6 TFT (Thin Film Transistor) 66
6.1 Prinsip Kerja Monitor LCD TFT (*Thin Film Transistor*) 69
6.2 Perbedaan Monitor CRT dan Monitor LCD TFT 73

7 PROSES PEMBUATAN OFET 76
7.1 Deposisi Film Tipis 76
7.2 Karakteristik film tipis 77
7.2.1 *X-ray diffraction* (XRD) 78
7.2.2 SEM (*Scanning Electron Microscope*) 78
7.2.3 SEM dilengkapi dengan ED-X 79
7.3 Pembuatan OFET 81
7.4 Karakterisasi OFET 81
7.5 Uji Kinerja OFET Sebagai Sensor Gas 82
7.5.1 Sensitivitas 83
7.5.2 Waktu tanggap dan waktu pemulihan 83

8 HASIL DEPOSISI DAN KARAKTERISASI FILM TIPIS 85
8.1 Metode deposisi Film Tipis 85
8.2 Hasil Deposisi Film Tipis CuPc 86

8.3 Pengujian Struktur Kristal dengan X-RD 87
8.4 Hasil SEM dengan Variasi Arus 91
8.5 Hasil SEM Penampang Melintang 92
8.6 Hasil Analisis SEM E-DX 94

9 TEKNIK *LITHOGRAPHY* PROSES PEMBUATAN OFET 97
9.1 Masker untuk *photolithography* 98
9.2 Tahapan proses *photolithography* 98
9.3 Proses *lithography* pembuatan OFET (*Organic Field Effect Transistor*) . . 100

10 PENUTUP 106

DAFTAR PUSTAKA 107

INDEKS 111

GLOSARIUM 114

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Daftar Tabel

1.1 *State of the Art* beberapa penelitian 7

3.1 Hambatan Jenis 23

4.1 Kandungan unsur CuPc dari SEM EDX (Sujarwata dan Putut M, 2013) . 33

8.1 Puncak difraksi X-RD dari serbuk dan film tipis CuPc 88
8.2 Kuat arus sebagai parameter deposisi film tipis CuPc 91
8.3 Kandungan unsur CuPc dari SEM EDX 95

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Daftar Gambar

1.1 Struktur konduktivitas sensor gas (Arshak et al, 2004) 7
1.2 Disain tata letak sensor gas (Hiskia dan I Dewa Putu Hermida, 2006) . . . 8
1.3 Skema sensor gas (Srivastava et al, 2009) 8
1.4 Struktur OFET 9

2.1 Transistor FET 15
2.2 Karakteristik statik FET 16
2.3 Respon sensor *E-nose* untuk bau (Arshak, K. et al, 2004) 18

3.1 Ikatan kovalen silikon dalam dua dimensi 22
3.2 Semikonduktor Tipe P 25
3.3 Semikonduktor Tipe N 26

4.1 Struktur kimia senyawa turunan *phthalocyanine* (Yin, 2001) 28
4.2 Struktur molekul CuPc (Puigdollers, 2006) 30
4.3 Hasil scanning elemental ED-X (Sujarwata dan Putut M, 2013) 32

5.1 Skema sistem reaktor PA-MOCVD (Sugianto dkk, 2004) 39
5.2 Gambaran proses spin coating 40
5.3 Proses *Spin Coating* 41
5.4 Struktur ikatan kimia PVA 41
5.5 Absorbansi Polyvynyl Alcohol (PVA) terjadi pada sekitar panjang gelombang 300 nm (Masayuki Shimao dkk, 2000) 42
5.6 Sistem reaktor *dc magnetron spputering* (Sulhadi, 2010) 45
5.7 Skema sistem vakum evaporator (Stuart, 1983) 51
5.8 Diagram proses PVD (Physical Vapor Deposition)-Evaporasi 52
5.9 Posisi adsorption site pada permukaan substrat 52
5.10 Metode evaporasi 54
5.11 Vakum evaporasi (VE) *Model JEOL JEE-4X* 54
5.12 Skema deposisi CBD 56
5.13 *Diffractometer* (https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction) 57
5.14 *Difraksi sinar x* (https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction) 58
5.15 (a). Kristal, (b). *Amorf* (Smallman dan Bishop, 2000): 13 60

5.16 Skema dasar SEM (Smallman dan Bishop, 1999: 144) 62
5.17 Hamburan dari elektron jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 1999: 142) 63

6.1 Beberapa jenis konstruksi TFT 66
6.2 Struktur matriks layar TFT 68
6.3 Tipe layar *Liquid Crystal Display* (LCD) 69
6.4 Perbedaan karakteristik molekul 69
6.5 Fase nematic dan bahan bersifat nematic 70
6.6 Ilustrasi twisted nematic (TN) 71
6.7 Susunan sandwich layar LCD 71
6.8 Cahaya mengikuti bentuk pilinan (tanpa arus) 71
6.9 Cahaya mengikuti bentuk untwisted TN (ada arus) 72
6.10 Monitor CRT 73
6.11 Monitor LCD TFT 75

7.1 Bagan alir dalam pembuatan OFET untuk aplikasi sensor gas beracun . . 76
7.2 Masker pada proses pembuatan OFET 81
7.3 Respon sensor *E-nose* untuk bau (Arshak, K. et al, 2004) 83

8.1 Hasil deposisi film tipis CuPc diatas susbrat 87
8.2 Pengaruh resistansi film tipis terhadap arus 87
8.3 Spektrum XRD dari Serbuk CuPc 88
8.4 Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 35 A 89
8.5 Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 40 A 89
8.6 Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 45 A 90
8.7 Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 50 A 90
8.8 Hasil Morfologi SEM dengan Arus 40 A 91
8.9 Hasil Morfologi SEM dengan Arus 45 A 92
8.10 Hasil Morfologi SEM dengan Arus 50 A 92
8.11 Hasil Morfologi SEM Penampang Melintang dengan Arus 40 A 93
8.12 Hasil Morfologi SEM Penampang Melintangdengan Arus 45 A 93
8.13 Hasil Morfologi SEM Penampang Melintang dengan Arus 50 A 94
8.14 Hasil scanning elemental E-DX 95

9.1 Substrat *Silicon Wafer Single Side Pulishing* 100
9.2 Larutan *developer* AZ1350J 102
9.3 Larutan *developer* MF319H 102

Bab 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu bidang teknologi tinggi yang sangat mempengaruhi peradaban manusia di abad ini adalah teknologi semikonduktor. Pembahasan tentang divais semikonduktor tentunya tidak bisa lepas dari material semikonduktor itu sendiri sebagai bahan dasar pembuatan divais tersebut. Silikon (Si) dengan persediaan yang berlimpah di bumi dan dengan teknologi pembuatan kristalnya yang sudah mapan, telah menjadi pilihan dalam teknologi semikonduktor.

Semikonduktor Silikon (Si) adalah material dengan celah energi yang tidak langsung, di mana nilai minimum dari pita konduksi dan nilai maksimum dari pita valensi tidak bertemu pada satu harga momentum yang sama. Ini berarti agar terjadi eksitasi dan rekombinasi dari membawa muatan diperlukan perubahan yang besar pada nilai momentumnya. Dengan kata lain, silikon sulit untuk memancarkan cahaya. Sifat ini menyebabkan silikon tidak layak untuk digunakan sebagai piranti fotonik/optoelektronik, sehingga tertutup kemungkinan misalnya membuat IC yang di dalamnya terkandung detektor optoelektronik atau suatu sumber pemancar cahaya dengan hanya menggunakan material silikon saja.

Salah satu piranti optik yang sering kita jumpai ialah monitor LCD komputer atau televisi di rumah. Bila menyentuh bagian permukaan layar, kita akan merasakan seolah tak ada jarak antara image yang ditampilkan dengan tangan kita. Begitu tipis dan penuh warna. Inilah karakteristik yang dibawa oleh TFT (Thin Film Transistor) dan beberapa teknologi panel lainnya.

Penelitian OFET (*Organic Field Effect Ttransistor*) yang dimanfaatkan untuk aplikasi sensor gas intensif sejak dasawarsa ini. OFET adalah transistor FET yang menggunakan bahan semikonduktor organik, dimana sambungan antara logam semikonduktor organik dipengaruhi oleh adanya efek medan listrik. Permulaan OFET diproduksi dengan bahan polythiophene film pada akhir tahun 1970. Hal ini memungkinkan fabrikasi film tipis (orde mikrometer) organik dengan jarak molekul lebih kecil. OFET mempunyai keung-

gulan dibandingkan dengan transistor FET dari bahan anorganik silikon, yaitu: piranti elektronika ramah lingkungan, mudah fabrikasinya, hemat energi operasionalnya dan beroperasi pada suhu ruang. Mobilitas pembawa muatan sensor gas dari bahan anorganik umumnya masih rendah. Rendahnya mobilitas pembawa muatan dikarenakan belum diteliti struktur senor gas berbasis film tipis secara optimal. Sensor gas berstruktur OFET seperti dalam penelitian ini merupakan upaya memperbaiki mobilitas pembawa muatan, waktu tanggap dan waktu pemulihan.

Perkembangan sensor gas pada saat sekarang ini berstruktur dioda dan hanya terdiri dari 2 terminal elektroda yang digunakan sebagai kontak resistansi. Sensor gas ini mempunyai satu nilai mobilitas pembawa muatan, sebab medan listrik yang terjadi dalam lapisan aktif semikonduktor tidak dapat divariasi. Mobiliatas pembawa muatan semikonduktor sangat berkaitan dengan tanggap sensor gas. Sensor gas yang memiliki satu nilai mobilitas pembawa muatan, maka sensor gas tersebut hanya dapat mendeteksi gas tertentu saja.

Sensor gas berstruktur OFET berbasis film tipis yang dibuat dalam penelitian ini didasarkan pada transistor efek medan organik dengan menggunakan adanya 3 terminal yang berfungsi sebagai *switch* mikroelektronik. OFET merupakan transistor yang prinsip kerjanya berdasarkan efek medan listrik sebagai hasil dari tegangan kedua ujung terminalnya. Mekanisme prinsip kerja dari transistor ini berbeda dengan transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*). Pada transistor OFET arus yang terjadi dapat dikontrol dari terminal *drain* (D) dan dihasilkan tegangan antara *gate* (G) dan *source* (S). Divais OFET ini dapat dikatakan sebagai transistor yang berfungsi sebagai converter tegangan ke aliran arus.

Alat deteksi gas yang mempunyai sensitivitas sangat tinggi terhadap adanya gas adalah sensor gas dari material semikonduktor (Min, 2003). Sensor gas dari berbagai macam gas sangat pesat perkembangannya pada dekade terakhir ini. Hal ini disebabkan oleh sensor gas yang cenderung lebih murah, sederhana, ukuran sangat kecil dan bersifat *mobile* dari instrumen analitis tradisional saat ini. Beberapa contoh pengembangan sensor gas, antara lain: untuk monitoring proses pembakaran dan emisi gas kendaraan bermotor, deteksi asap, memonitor emisi gas buang proses industrl seperti pembangkit listrik dan degradasi oli mesin.

Material semikonduktor organik telah mulai diteliti dan dikembangkan sejak tahun 1940. Setelah ditemukan adanya material semikonduktor organik, yang dibuat suatu diode berbasis molekul oleh Aviram pada tahun 1974. Hal ini membuat penelitian mengenai piranti-piranti organik yang berkembang semakin pesat. Piranti-piranti elektronik organik tersebut diproduksi dalam bentuk lapisan tipis (film tipis), karena material organik mempunyai rapat pembawa muatan yang kecil. Prinsip kerja dari piranti-piranti elektronik tersebut adalah adanya sambungan antara logam dan semikonduktor organik sehingga ketika logam dan semikonduktor organik disambungkan terjadi perpindahan elektron dari

logam ke semikonduktor organik

Piranti-piranti elektronik yang menggunakan prinsip kerja dari sambungan logam material semikonduktor organik diantaranya: OFET, OLED, OPV. OFET (*Organic Field Effect Ttransistor*) adalah transistor efek medan organik yang menggunakan bahan organik dimana sambungan antara logam-semikonduktor organiknya dipengaruhi oleh adanya efek medan listrik (Horowitz, 1998). OLED pertama kali ditemukan sekitar tahun 1987, dimana OLED ini biasanya diproduksi dalam bentuk lapisan tipis (thin film) dari bahan organik. Bahan organik yang biasa digunakan dalam pembuatan OLED terdiri atas small molecules dan polimer. OLED ini telah digunakan sebagai layar televisi, komputer, layar hand phone dll. Prinsip kerja dari OLED berbeda dengan LED, jika LED berdasarkan adanya sambungan elektrik antara tipe p dan n dari material yang didoping sedangkan display OLED menggunakan senyawa organik yang mengeluarkan cahaya apabila diberi arus listrik.

Organik semikonduktor seperti phthalocyanine telah mendapatkan perhatian yang besar dalam beberapa tahun ini terutama sebagai detektor gas, komponen aktif dari piranti sel surya, LED, piranti photovoltaik, pewarna, dan sistem optik penyimpan data (El-Nahass et al, 2006). CuPc merupakan semikonduktor organik yang menunjukkan sensitivitas yang sangat tinggi untuk mendeteksi gas seperti NO2 dan Cl2. Pada bahan organik tingkat energi teratas yang ditempati elektron biasa disebut sebagai HOMO dan tingkat energi terbawah yang tidak ditempati elektron biasa disebut sebagai LUMO dengan lebar celah energi diantara keduanya. CuPc merupakan bahan semikonduktor organik yang mempunyai sifat sebagai semikonduktor tipe-p, dengan LUMO sebear 3,5 eV dan HOMO sebesa 5,2 eV (Triyana, 2004). Dalam pembuatan divais elektronika semikonduktor organik CuPc dapat dibuat dalam bentuk lapisan tipis dengan menggunakan logam tertentu sebagai elektroda.

Pada saat sekarang ini teknologi dari film tipis (lapisan tipis) sebagai aplikasi sensor gas yang lebih praktis dan mempunyai sensitivitas sangat tinggi terus dikembangkan oleh para ahli, salah satunya adalah film tipis dari bahan semikonduktor organik CuPc (*copper phthalocyanine*). Sensor gas berbasis film tipis ini diharapkan dapat bekerja secara optimum pada suhu ruang sebagai pendeteksi gas. Deteksi gas didasarkan pada peristiwa oksidasi reduksi yang terjadi antara permukaan film tipis dengan gas. Namun permasalahan sering muncul berkaitan dengan pembuatan sensor gas adalah waktu tanggap yang masih lambat, yaitu: 2 menit. Dalam penelitian berupaya untuk meningkatkan waktu tanggap yang masih lambat dengan membuat sensor gas yang berstrutur OFET berbasis film tipis CuPc.

Bahan semikonduktor organik CuPc (*Copper Phtalocyanine*) merupakan topik sangat menarik untuk diteliti dan dikaji, sebab mempunyai kepekaan tinggi terhadap oksidasi gas. Perkembangan sensor gas memerlukan pengetahuan tentang struktur maupun bahan semikonduktor untuk deposisi film tipis. Kenyataannya menunjukkan bahwa struktur

dari film tipis sangat berpengaruh terhadap karakteristik sensor gas (Mirwa, dkk, 1995). Material dari *phthalocyanine* dan paduannya memiliki aspek potensi komersial yang baik dan menawarkan aplikasi yang lebih unggul dibanding dengan silikon. Bahan ini juga memperlihatkan adanya kepekaan tinggi pada elektron akseptor gas dan absorbsi pada permukaan kristal yang diikuti reaksi transfer muatan.

Film tipis dapat dideposisikan dari bahan organik, anorganik, logam, maupun campuran logam organik yang memiliki sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor maupun insulator. Film tipis banyak dimanfaatkan sebagai lapisan aktif untuk aplikasi sensor gas, karena murah proses produksinya dan mempunyai sifat elektrisnya dapat diatur pada proses pembuatannya. Proses produksi film tipis dapat menggunakan teknik *sputtering*, vakum evaporasi dan CVD (*chemical Vapour Deposition*). Parameter pembentukan kristal dari film tipis, seperti suhu operasi dan proses deposisi berpengaruh terhadap karakteristiknya. Dengan memvariasi parameter pada proses deposisi film tipis diharapkan permasalahan, seperti: mobilitas pembawa muatan, waktu respon dan waktu pulih sensor dapat ditingkatkan.

Pada saat ini pengembangan tentang film tipis (lapisan tipis) yang diaplikasikan untuk sensor gas yang lebih praktis dan mempunyai sensitivitas tinggi terus dikembangkan, salah satunya adalah film tipis dari bahan semikonduktor organik CuPc (*Copper phthalocyanine*). Film tipis ini diharapkan dapat bekerja secara optimum pada suhu ruang sebagai sensor gas. Deteksi gas didasarkan pada peristiwa oksidasi reduksi yang terjadi antara permukaan film tipis dengan gas. Namun permasalahan yang sering muncul berkaitan dengan pembuatan sensor gas adalah waktu tanggap yang masih lambat, yaitu: 2 menit (Maggioni, D, et al, 2008).

Penelitian tentang *organic field effect transistor* (OFET) yang dimanfaatkan sebagai sensor gas sangat intensif sejak dasawarsa ini. Hal ini disebabkan karena keunggulan OFET dibandingkan dengan transistor anorganik silikon (Si), yaitu: piranti elektronika ramah lingkungan, mudah fabrikasinya, hemat energi dalam operasionalnya dan beroperasi pada suhu ruang. Mobilitas pembawa muatan dari sensor gas material anorganik umumnya masih rendah. Rendahnya mobilitas dikarenakan belum diteliti struktur senor secara optimal. Sensor gas berstruktur OFET dalam penelitian ini merupakan upaya memperbaiki mobilitas, waktu tanggap dan waktu pemulihan. Terkait parameter sensor gas secara lebih spesifik, unsur kebaharuan penelitian ini terletak pada studi sistematis terhadap pengaruh struktur sensor gas. Sensor dengan struktur OFET akan menghasilkan adanya modulasi resistansi, sehingga memungkinkan untuk mendeteksi gas yang mempunyai kosentrasi berbeda.

Pengembangan teknologi disegala bidang membawa kemajuan bagi kehidupan manusia, tetapi juga berdampak negatif bagi lingkungan hidup. Hal ini terlihat pada penurunan kualitas udara akibat pencemaran emisi kendaraan bermotor, seperti adanya gas CO dan CO_2. Disamping itu limbah industri juga penyebab pencemaran udara. Kehadiran berba-

gai gas tersebut pada tingkat tertentu semakin mengkhawatirkan bagi kehidupan makhluk hidup. Terkait fenomena tersebut, diperlukan penelitian yang menghasilkan produk untuk mendeteksi gas beracun secara dini. Alat deteksi gas yang mempunyai sensitivitas terhadap gas yang berada lingkungan adalah sensor gas. Sensor gas merupakan sensor elektro kimia, yaitu perangkat yang dapat merespon perubahan lingkungan kimia disekitarnya dengan menghasilkan sinyal listrik.

Gas CO dapat bereaksi dengan hemoglobin darah akan membentuk senyawa karboksi hemoglobin (Hb-CO) yang tidak bisa mengangkut O_2 dalam sirkulasi darah. Kemampuan gas CO dalam mengikat Hb, ternyata 210 kali lebih kuat, apabila dibandingkan ikatan antara O_2 dengan Hb, sehingga mengakibatkan O_2 kalah bersaing. Seseorang yang 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).

Pada saat gas CO terhidup oleh tubuh, maka CO akan segera masuk ke dalam darah dan berikatan dengan haemoglobin. CO lebih mudah diikat oleh haemoglobin dibandingkan dengan oksigen atau O2. Akibatnya tubuh akan kekurangan oksigen dan hal ini bisa menimbulkan pusing, sesak nafas, muntah-muntah, kehilangan kesadaran bahkan sampai pada kematian. Oleh karena itu, sangat penting bagi setiap pekerja yang berada di pabrik kimia mengenali sumber-sumber penghasil gas CO. Sumber yang paling umum di industri kimia antara lain diesel engine generator, incinerator, boiler, combustion engine, steam reformer, calciner, furnace, cerobong dan mesin las.

Tentu, hanya dengan mengenali saja tidak cukup. Perlu beberapa tindakan antisipasi untuk mencegah terjadinya keracunan gas CO. Tindakan-tindakan tersebut meliputi:

1. Memasang carbon monoxide gas detector atau detektor gas CO, yang dilengkapi dengan alarm, di ruangan di mana gas CO dihasilkan.

2. Memastikan bahwa sistem ventilasi terpasang dan beroperasi dengan baik.

3. Sebelum melakukan pekerjaan di area tertutup atau confined space, lakukan terlebih dahulu pengecekan gas CO dengan gas detector. Gunakan respirator bila perlu.

4. Lakukan perawatan peralatan yang menghasilkan gas CO secara berkala, untuk mengurangi pembentukan gas CO dan menjaga agar mesin bekerja pada performa terbaiknya.

5. Jika memungkinkan, hindari penggunaan mesin-mesin berbahan bakar minyak di area kerja dengan sistem ventilasi kurang baik.

6. Berikan pelatihan atau training bagi pekerja mengenai sumber-sumber gas CO dan bahaya keracunan gas CO beserta gejala-gejalanya.

Penggunaan slogan safety atau pun tanda bahaya juga akan sangat membantu, untuk mengingatkan para pekerja akan bahaya gas karbon monoksida. Buatlah slogan atau tanda bahaya semenarik dan seinformatif mungkin. Namun, jangan lupa, selalu lakukan pengukuran dan evaluasi terhadap efektivitasnya.

1.2 Permasalahan

Ketersediaan sensor gas sangat vital, terutama untuk mendeteksi secara dini gas beracun. Penelitian ini berfokus pada pembuatan OFET untuk deteksi gas beracun. Aplikasi sensor gas lebih jauh untuk deteksi gas dari sistem pembakaran, seperti: kendaraan bermotor dan gas buang pabrik. Dengan mengacu latar belakang di atas, maka dirumuskan permasalahan yang meliputi mekanisme:

(1) Deposisi film tipis CuPc dan karakterisasinya dengan X-RD dan SEM.

(2) Pembuatan geometri divais sensor gas dengan teknik *lithography*.

(3) Pembuatan OFET berstruktur *bottom contact* dan panjang saluran (*channel*) dibuat bervariasi, yaitu: 100 μm, 200 μm dan 300 μm.

(4) Karakterisasi keluaran OFET.

(5) Uji kinerja OFET untuk mendeteksi gas beracun.

1.3 Penelitian Pemanfaatan Bahan Organik

Pemanfaatan dari material/bahan organik sebagai material dan piranti semikonduktor dalam proses pembuatan sensor gas telah banyak dilakukan oleh para peneliti.

Dari telaah jurnal (Tabel 1.1), diperoleh subtansi penelitian yang belum dilakukan dan perlu ditingkatkan kinerja sensor gas. Subtansi penelitian tersebut antara lain:

a). Jurnal Tabel 1.1 belum mengungkap struktur sensor berupa OFET untuk deteksi gas.

b). Penelitian sebelumnya umumnya mobilitas masih rendah, yaitu: 1,2 .10^{-5} cm^2/Vs (Ho-Shik, Lee, et al, 2011), maka penelitian ini diharapkan meningkatkan mobilitasnya.

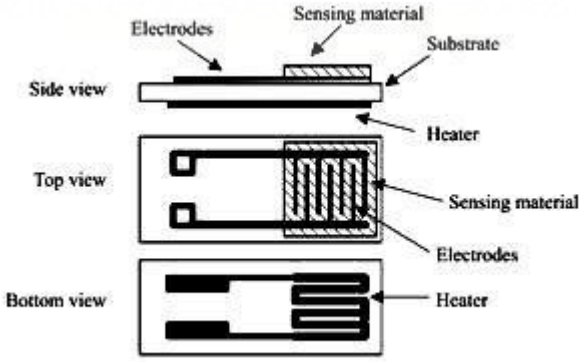
c). Waktu tanggap dan pemulihan sensor gas masih lambat, maka dengan pembuatan OFET ini diharapkan dapat meningkatkan waktu tanggap dan pemulihan.

d). Sensor gas yang diteliti sebelumnya mendeteksi gas pada suhu tinggi, yaitu berkisar (150 ^{o}C - 200 ^{o}C). Sensor gas ini kurang praktis dan membutuhkan pemanas.

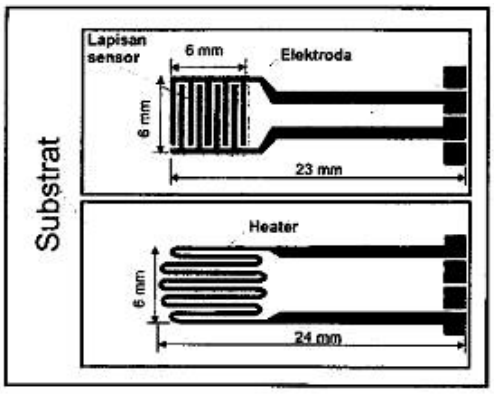
Tabel 1.1: *State of the Art* beberapa penelitian

Penulis dan Tahun	Judul dan Nama Jurnal	Hasil Eksperimen
Maggioni,G et al, 2008	*Plasma-deposited CuPc A single gas: sensing material with multiple responses*, Sensors and Actuators B 131 (2008) 496503	Mempunyai waktu respon elektrik 2 menit
Kapse,V.D et al, 2009	*H_2S sensing properties of La-doped nanocrystalline In_2O_3 Vacuum* 83 (2009) 346-352	Waktu respon pada suhu 125° C dan adanya pemanas
Patil,L.A et al, 2010	*Highly sensitive ethanol sensors based on nanocrystalline SnO2 thin films*, Current Applied Physics 10 (2010) 1249-1254	Mempunyai waktu pulih 60 s. Waktu respon sensor pada suhu (250°-450°)C
Ho-Shik,Lee et a, 2011	*Electrical Properties of a CuPc Field Effect Transistor Using a UV/Ozone Treated and Untreated Substrate*, Transactions on Electrical and Electronic Materials(2011) 40-42	Mobilitas rendah 1,2.10^{-5}cm^2/Vs Belum diaplikasikan untuk sensor gas
Lyly Nyl Ismail, et al, 2012	*Influence of Doping Concentration on Dielectric, Optical,and Morphologica Properties of PMMA Thin Films* , Advances in Materials Science and Engineering,Volume 2012, Article ID 605673, 5 pages	Mendeteksi pada suhu (150-300)^{o}C dan belum diaplikasikan untuk sensor gas

Sensor gas yang berkembang pada saat sekarang ini, hanya terdiri 2 elektroda sebagai kontak resistansi. Sensor gas ini hanya mempunyai satu nilai mobilitas pembawa muatan, sebab medan listrik yang terjadi dalam semikonduktor aktif tidak dapat divariasi. Mobiliatas pembawa muatan dalam semikonduktor berkaitan dengan respon sensor gas. Dengan hanya memiliki satu nilai mobilitas, maka sensor gas hanya dapat merespon gas pada konsentrasi tertentu saja. Dengan demikian untuk gas yang mempunyai konsentrasi lain, sensor gas tidak dapat merespon.



Gambar 1.1: Struktur konduktivitas sensor gas (Arshak et al, 2004)

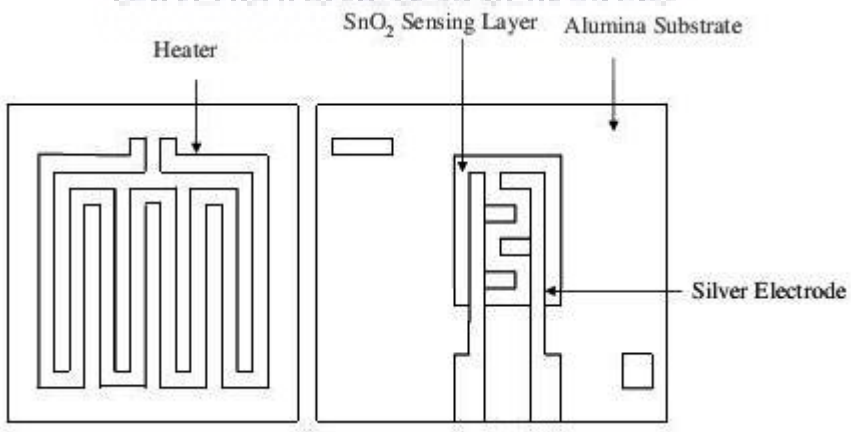


Gambar 1.2: Disain tata letak sensor gas (Hiskia dan I Dewa Putu Hermida, 2006)

Perubahan dari karakteristik listrik dalam OFET (transistor efek medan organik) terjadi apabila sensor gas dikenai oleh gas. Tanggapan listrik dapat disebabkan oleh perubahan resisitif yang timbul karena adanya reaksi antara material semikonduktor sebagai lapisan aktif dengan gas. Pada umumnya perubahan dari karakteristik listrik yang lebih besar dapat diamati setelah terpapar dengan konsentrasi dari gas lebih tinggi. Keuntungan dari transistor berstruktur OFET adalah adanya perubahan resisitif yang berupa modulasi respon sensor.

Gambar 1.2 merupakan disain tata letak dari sensor untuk deteksi adanya gas CO dan struktur pemanas yang digunakan. Sensor gas ini terdiri dari sebuah pemanas (*heater*), sepasang elektroda (*interdigital electodes*) dan lapisan sensor *(sensitive layer*) dari SnO_2 (*Tin Dioxide*). Aplikasi sensor ini membutuhkan *heater* pada saat beroperasi untuk deteksi adanya gas, tanpa adanya pemanas sensor tidak sensitif. Disamping itu sensor gas ini hanya mempunyai nilai satu mobilitas pembawa muatan, karena medan listrik dalam semmikonduktor tidak dapat divariasi. Sensor gas dengan disain seperti ini (Gambar 1.2) kurang praktis untuk deteksi gas karena membutuhkan pemanas dan jangkauan pengukuran kurang luas.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Gambar 1.3: Skema sensor gas (Srivastava et al, 2009)

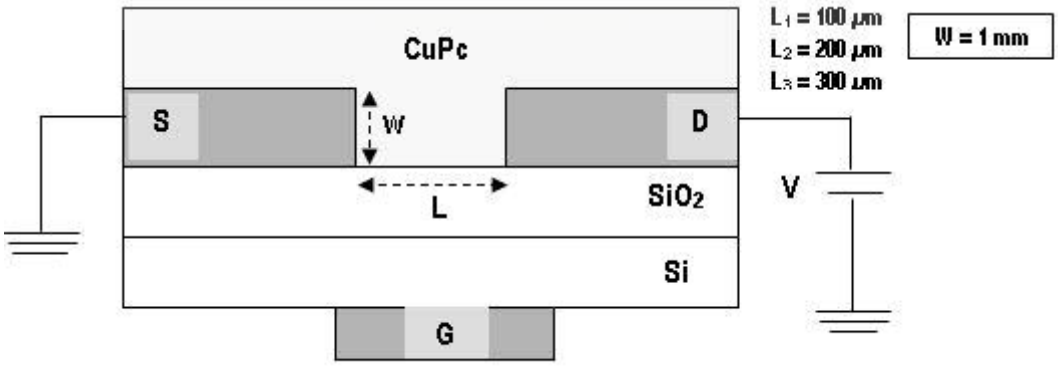
Gambar 1.3 adalah skema sensor gas yang didoping dengan konsentrasi 1% paladium menunjukkan sensitivitas maksimum 72% pada suhu 350 ^oC untuk konsentrasi 0,5% LPG. Sensor gas dengan disain seperti yang ditunjukkan Gambar 1.3 kurang praktis untuk mendeteksi gas karena membutuhkan pemanas dan mobilitas pembawa muatan elektrostatis tidak dapat diakumulasikan.

Dasar proses pembuatan divais OFET (*organic field effect transistor*) adalah lapisan material semikonduktor dihubungkan melalui dua elektroda, yaitu *source* (S) dan *drain* (D). Elektroda *gate* (G) elektrik yang terisolasi pada lapisan material semikonduktor melalui lapisan oksida isolator dan membentuk sebuah kapasitor pelat paralel. Dengan mengaplikasikan tegangan dari *gate* (G) yang tehubung dengan elektroda *source*. Selanjutnya mobilitas pembawa muatan elektrostatis dapat diakumulasikan atau berubah pada permukaan isolator material semikonduktor. Dengan demikian, efek medan listrik yang menyebabkan mobilitas pembawa muatan dalam semikonduktor dapat divariasi (diubah-ubah). Oleh karena itu, arus yang melalui material semikonduktor dapat bervariasi dengan urutan magnitudo.

Sensor gas yang ditunjukkan oleh (Gambar 1.1), (Gambar 1.2) dan (Gambar 1.3) hanya mempunyai nilai satu nilai mobilitas pembawa muatan saja, karena medan listrik yang terjadi dalam material semikonduktor tidak dapat divariasi (diubah dengan nilai medan listrik yang lain). Dengan hanya memiliki satu nilai mobilitas pembawa muatan, maka sensor gas ini hanya dapat merespon/ mendeteksi adanya gas pada konsentrasi tertentu saja.

Dengan demikian untuk gas yang mempunyai konsentrasi lain (berbeda), sensor gas tidak dapat merespon (mendeteksi) gas yang ada. Kebaharuan dari sensor gas yang dibuat ini adalah sensor gas dengan struktur OFET berbasis film tipis CuPc, seperti yang ditunjukkan pada (Gambar 1.4), sehingga nilai mobilitas pembawa muatan dapat divariasi dengan mengubah tegangan pada *G (gate)*. Sensor gas yang mempunyai mobilitas pembawa muatan tidak hanya satu macam, maka sensor akan dapat mendeteksi gas berbagai macam konsentrasi gas.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Gambar 1.4: Struktur OFET

1.4 Manfaat yang Diharapkan

OFET yang dibuat ini dapat dimanfaatkan diberbagai bidang, antara lain:

a) Bidang kesehatan, dapat dimanfaatkan sebagai pemantau kualitas udara, sehingga didapatkan udara sehat.

b) Bidang industi, akan memberikan harapan komersial untuk memproduksi sensor gas, sebab material semikonduktor CuPc 200 mg dapat dibuat transistor efek medan organik (OFET) antara 75 hingga 100 buah

c) Bidang fisika, khususnya zat padat/material akan memberikan harapkan untuk dikembangkan *photoconductive* dan *photovoltaic response*.

d) Bidang elektronika, menjadi dasar dalam pengembangan teknologi mikro-elektronika, sehingga diperoleh piranti elektronika yang lebih kecil dan praktis.

e) Bidang akademik, dapat memberikan kontribusi pemikirian tentang perkembangan sensor gas secara detail dari sisi strukturnya sensor.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Bab 2

TRANSISTOR EFEK MEDAN (FET)

Transistor efek medan (FET) dibagi menjadi 2 keluarga, yaitu: *Junction FET* (JFET) dan *Insulated Gate FET* (IGFET) atau juga dikenal sebagai *Metal Oxide Silicon* (MOS) atau (*Semiconductor*) FET (MOSFET). Berbeda dengan IGFET (*Insulated Gate FET*), terminal *gate* (G) dalam transistor JFET membentuk sebuah dioda dengan kanal (materi semikonduktor antara *source* (S) dan *drain* (D). Secara fungsinya, transistor efek medan ini membuat *N-channel JFET* menjadi sebuah *versi solid-state* dari tabung vakum, yang juga membentuk sebuah dioda antara *grid* dan katoda. Dan juga, keduanya (JFET dan tabung vakum) bekerja pada daerah " *depletion mode*", keduanya memiliki impedansi input yang sangat tinggi dan menghantarkan arus listrik dibawah kontrol adanya dari tegangan input.

Kanal konduktif adalah jalur dimana elektron (atau lubang) mengalir dari *source* (S) ke *drain* (D). Dengan menganggap sebuah piranti kanal-n model pemiskinan. Sebuah tegangan negatif *gate* G ke *source* (S) akan menyebabkan daerah pemiskinan untuk bertambah lebar dan menghalangi kanal dari kedua sisi serta mempersempit kanal konduktif. Jika pada daerah pemiskinan menutup kanal sepenuhnya, resistansi kanal dari S ke D menjadi besar dan FET dimatikan seperti pada sakelar yang terbuka. Sebaliknya, sebuah tegangan positif G ke S menambah lebar kanal dan memungkinkan elektron mengalir dengan mudah. Sekarang menganggap sebuah piranti kanal-n model pengayaan. Sebuah tegangan positif G ke S dibutuhkan untuk membuat kanal konduktif karena ini tidak dapat terjadi secara alami di dalam transistor.

Penambahan tegangan dari D ke S akan menyebabkan bertambahnya jarak antara D ke S dan memperbesar resistansi dikarenakan daerah pemiskinan sebanding dengan tegangan D ke S. Perubahan sebanding ini menyebabkan arus D ke S relatif tetap tak terpengaruh oleh perubahan tegangan D ke S dan berbeda dengan operasi model linier. Dengan demikian model penjenuhan, FET berlaku seperti sebuah sumber arus konstan dari pada sebagai resistor variabel dan dapat digunakan secara efektif sebagai penguat

tegangan. Pada situasi ini, tegangan G ke S S menentukan besarnya arus konstan yang melewati kanal.

Sensor gas yang dibuat dalam penelitian penulis didasarkan pada bidang Transistor Efek Medan Organik (OFET) dengan menggunakan adanya tiga perangkat terminal yang berfungsi sebagai *switch* mikroelektronik. Aplikasi yang sangat menarik untuk aplikasi pada bidang transistor efek medan (FET) berbasis sensor gas adalah deteksi gas beracun. Menghirup adanya gas beracun berkaitan dengan efek pernapasan yang merugikan karena akan menyebabkan penyakit radang saluran pernafasan. Oleh karena itu keberadaan sensor gas beracun sangat penting bagi kesehatan dan keselamatan lingkungan untuk monitoring gas beracun secara dini. Dengan demikian manusia dapat menghindari adanya gas beracun, karena keberadaan gas beracun sudah dapat diketahui secara dini. Pembahasan dalam buku ini, mekanisme operasional deteksi gas beracun dengan Transistor Efek Medan Organik (OFET) dan wawasan yang diperoleh digunakan untuk mengembangkan sensor gas beracun agar mempunyai sensitivitas tinggi.

Proses pembuatan transistor berbasis OFET (Transistor Efek Medan Organik) yang diungkapkan dalam buku ini dengan bahan semikonduktor organik sebagai berikut: jarak D (*drain*) ke S (*source*) didefinisikan L dan lebar saluran W. Arus yang mengalir dari elektroda D ke S dikendalikan oleh tegangan pada elektroda *gate*(V_G). Ketika tidak ada tegangan *gate* (V_G), maka arus D (I_D) sangat rendah dan transistor normal kembali. Ketika tegangan G bertambah, maka pembawa muatan terkumpul dipermukaan antara semikonduktor dan insulator. Kemudian ketika arus D bertambah berkaitan dengan meningkatnya pembawa muatan, maka transistor kembali pada kondisi *on*. Uraian singkat ini merupakan prinsip cara kerja OFET. Tahapan pembuatan OFET, sebagai berikut: permulaan dilakukan pencucian substrat Si/SiO_2 dengan etanol dalam *ultrasonic cleaner*, selanjutnya deposisi elektroda S dan D di atas lapisan SiO_2 menggunakan bahan Au dengan teknik *lithography*.

2.1 Dasar-dasar OFET

Transistor berbasis OFET (Transistor Efek Medan Organik) merupakan transistor yang mempunyai prinsip kerja berdasarkan efek medan listrik sebagai hasil dari tegangan diantara kedua ujung terminalnya. Mekanisme prinsip kerja dari transistor berbasis OFET ini berbeda dengan transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*). Pada transistor OFET, arus yang terjadi dapat dikontrol dari *drain* (D) dan dihasilkan tegangan antara *gate* (G) dan *source* (S). Divais dari transistor berbasis OFET ini dapat dikatakan sebagai transistor yang berfungsi sebagai *converter* tegangan ke aliran arus. Divais OFET mempunyai 2 struktur, yaitu *bottom contact* dan *top contact*. OFET menggunakan struktur *bottom contact*, dimana lapisan semikonduktor aktif dideposisi/ ditempatkan di bawah elektroda *source* (S) dan *drain* (D).

OFET dengan struktur *top contact* (kontak elektroda di atas lapisan aktif semikonduktor), dimana elektroda dari *source* (S) dan *drain* (D) dideposisi/ ditempatkan di atas lapisan semikonduktor aktif. Jarak elektroda D dan S didefinisikan sebagai panjang *channel* (L) dan panjang dari D dan S adalah W (lebar saluran). Arus diantara elektroda D dan S dikendalikan oleh tegangan *gate* (V_G). Ketika tegangan *gate* mulai bertambah, maka pembawa muatan bebas terkumpul di permukaan antara semikonduktor dan insulator. Kemudian ketika arus D bertambah berkaitan dengan meningkatnya pembawa muatan bebas, maka kondisi transistor kembali pada keadaan *on*, uraian ini merupakan konsep dasar dari cara kerja OFET.

2.2 Material Untuk Pembuatan OFET

Material semikonduktor organik telah dilakukan penelitian sejak tahun 1940. Setelah ditemukan adanya material semikonduktor organik, kemudian dibuat suatu diode yang berbasis molekul oleh Aviram pada tahun 1974. Hal inilah yang menyebabkan penelitian mengenai piranti-piranti organik berkembang semakin pesat. Piranti-piranti elektronik organik tersebut diproduksi dalam bentuk lapisan tipis, karena material organik mempunyai rapat pembawa muatan yang kecil. Prinsip kerja dari piranti-piranti elektronik tersebut adalah adanya sambungan antara logam dan semikonduktor organik sehingga ketika logam dan semikonduktor disambungkan terjadi perpindahan elektron dari logam ke semikonduktor organik (Ishii et al, 1999).

Divais dengan prinsip kerja memanfaatkan sambungan logam semikonduktor organik diantaranya: OFET, OLED, OPV. Transistor efek medan organik (OFET) adalah transistor yang menggunakan bahan semikonduktor organik, dimana sambungan antara logam semikonduktor organik dipengaruhi oleh adanya efek medan listrik (Horowitz, 1998). OLED pertama kali ditemukan sekitar tahun 1987, dimana OLED (Organic Light Emiting Diode) atau dioda cahaya organik biasanya diproduksi dalam bentuk lapisan tipis (*thin film*) dari bahan semikonduktor organik. Bahan semikonduktor organik yang biasa digunakan dalam pembuatan OLED terdiri atas *small molecules* dan polimer. OLED ini telah digunakan sebagai layar televisi, komputer, layar *hand phone* dan lain-lainnya. Prinsip kerja OLED berbeda dengan LED, jika LED berdasarkan adanya sambungan elektrik antara tipe p dan n dari material yang didoping sedangkan display OLED menggunakan senyawa organik yang mengeluarkan cahaya apabila diberi arus listrik.

Semikonduktor organik *phthalocyanine* mendapatkan perhatian yang besar dalam beberapa tahun ini terutama sebagai detektor gas, komponen aktif sel surya, LED, photovoltaik, pewarna dan sistem optik penyimpan data (El-Nahass et al, 2006). CuPc merupakan semikonduktor organik menunjukkan sensitivitas sangat tinggi untuk mendeteksi gas NO_2 dan Cl_2. Pada bahan organik tingkat energi teratas yang ditempati elektron disebut sebagai HOMO dan tingkat energi terbawah yang tidak ditempati elektron disebut LUMO

dengan lebar celah energi diantara keduanya. CuPc merupakan semikonduktor organik yang mempunyai sifat sebagai semikonduktor tipe-p, dengan LUMO sebear 3,5 eV dan HOMO sebesar 5,2 eV (Triyana, 2004). Pembuatan divais elektronika semikonduktor CuPc dapat dibuat film tipis dengan menggunakan logam tertentu sebagai elektroda.

Permulaan OFET diproduksi dengan bahan *polythiophene film* pada akhir tahun 1970. Hal ini memungkinkan fabrikasi film tipis organik dengan jarak molekul lebih kecil. Saat ini banyak variasi campuran semikonduktor untuk fabrikasi OFET dan sintesis material baru. Material organik paling banyak digunakan pada OFET adalah*tipe conjugated organic oligomers* dan *polymer* berbasis semikonduktor organik. *Polymer* dan molekul kecil telah digunakan sejak permulaan, dikarenakan menjajikan keuntungan. Kelemahan bahan tersebut adalah unjuk kerjanya masih lebih rendah dari pada molekul kecil.

Ketika terjadi perbedaan pembawa muatan, maka semikonduktor diklasifikan sebagai *p-type* dan *n-type*. Pada *p-type semiconductors*, pembawa muatan mayoritas adalah lubang, sedangkan semikonduktor *n-type*, sebagai pembawa muatan mayoritas adalah elektron. Aplikasi riil semikonduktor organik paling banyak diteliti adalah *p-type*. Sedangkan *n-type* tidak banyak diteliti, karena mobilitas efek medan relatif rendah. Disamping itu kepekaan terhadap udara dan embun kurang baik, sehingga jarang untuk fabrikasi OFET. Dalam buku akan diungkapkan deposisii film tipis CuPc menggunakan vakum evaporator pada suhu ruang untuk diteliti karakteristik dengan X-RD dan SEM. Hasil karakterisasi film tipis untuk memperoleh film tipis yang paling optimum untuk pembuatan OFET.

2.3 Resistansi Kontak OFET

Pendekatan utama adalah keistimewaan OFET, yaitu: tersedianya komponen elektronika, ongkos produksi murah, fleksibilitas, beban ringan dan bentuk kecil. Berkaitan dengan fakta bahwa OFET pada umumnya diproduksi dengan *one-mask lithographic*, yaitu proses yang tidak memerlukan *mash aligment*. Deposisi semikonduktor dan realisasi kontak tidak memerlukan pola, karena dapat memotong tahapan proses. Pembuatan OFET dalam proses satu penutup, maka S dan D dalam kontak yang sama sebagai saluran konduktor. Penerapan ini berlaku keduanya, baik struktur *bottom-contact* maupun *top-contact*.

Tujuan konsep *"interdigitation"* adalah ke *offset* daya konduksi rendah. Hal itu, jika tidak diperhatikan menyebabkan lebar saluran (W) melebihi panjang saluran (L) beberapa ratus kali. Oleh karena kesulitan aplikasi IGFET (*Insulated Gate Field Fffect Transistor*) untuk menghitung mobilitas *co-planar* OFET, maka pengukuran dibebankan oleh besarnya kesalahan. Kesulitan pengukuran diatasi dengan merancang struktur *co-planar* menggunakan separasi efek medan modulasi kontak dan saluran resistansi. Tujuan pokok pengukuran untuk menghilangkan efek kontak resistansi elektroda dalam, sebab terhubung masukan yang mempunyai impedansi lebih tinggi dan arus tidak dapat menerobosnya. Pendekatan itu berasumsi bahwa profil gradien adalah linier dari medan listrik

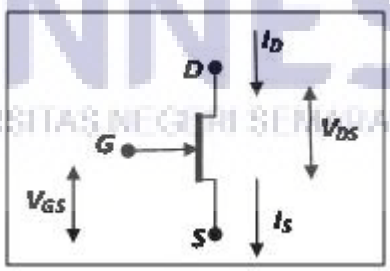
anatara D dan S. Dengan bertambahnya medan listrik antara D dan S, terjadi penurunan tegangan pada kontak. Divais beroperasi saling terkait, yaitu keduanya mempelajari efek medan G pada kontak resistansi dan pada semikonduktor organik adalah resistansi *bulk*.

2.4 Karakterisasi OFET

Tipe transistor ada 2 macam, yaitu: *transistor bipolar* (BJT) dan FET. Mekanisme fisik yang mendasari pengoperasian dari kedua transistor sangat berbeda. FET dibagi menjadi 2 kelas: *junction* transistor efek medan (JFET) dan semikonduktor oksida logam transistor efek medan (MOSFET). Oleh karena MOSFET sangat mudah terbakar , maka pembahasan buku ini berkonsentrasi pada JFET. Transistor dengan tipe JFET jarang dibicaran, jika bandingkan dengan transistor bipolar atau MOSFET, tetapi hal ini akan memberikan gambaran yang baik terhadap fungsi dari rangkaian transistor.

Transistor mempunyai 3 terminal, yaitu: tegangan *gate* (G) digunakan mengontrol arus yang mengalir diantara 2 terminal *source* (S) dan *drain* (D). Berdasarkan konvensi, terminal JFET, seperti: *gate*, *source* dan *drain* ditulis (G, S dan D). Tegangan transistor dan arus diberi subskrip mengacu ujung kabel yang sesuai. Jadi V_{GS} mengacu tegangan antara pintu G dan S, $I(V_D)$ adalah arus ke D, dan $I(V_S)$ adalah arus keluar dari sumber.

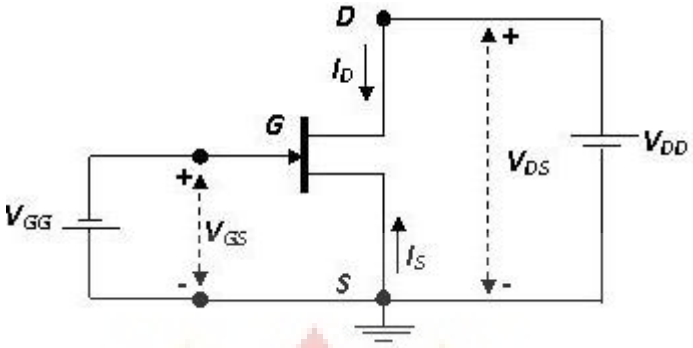
Transistor dalam keadaan normal, maka tidak ada arus yang dapat mengalir ke G, akibatnya $I(V_D)= I(V_S)$. FET adalah divais yang operasinya bergantung pada pengendalian arus oleh medan listrik. Tipe FET ada 2, yaitu sambungan transistor efek medan (*junction field-effect transistor*, disingkat JFET atau cukup FET saja) dan transistor efek medan gerbang terisolasi (*insulated gate field effect transistor*, disingkat IGFET), yang lebih lazim disebut transistor semikonduktor oksida logam (MOST, atau MOSFET).



Gambar 2.1: Transistor FET

Karakteristik statik FET (Gambar 2.1) menunjukkan rangkaian, simbol dan konvensi polaritas. Arah anak panah gerbang persambungan FET menunjukkan arah aliran arus gerbang, jika persambungan gerbang diberi prategangan maju. Karakteristik umum FET dibagi menjadi 2, yaitu kurva karakteristik $I_D$vs V_{GS} dan kurva I_D vs V_{DS}. Karakterisasii I-V dari kontak logam/semikonduktor menunjukkan hubungan antara arus yang melalui perangkat elektronik dan tegangan diaplikasikan pada terminal. Karakteristik

peralaatan untuk menentukan parameter dasar dari perangkat dan memodelkan perilaku dalam rangkaian listrik. Selain itu, karakteristiki$I$-V komponen aktif terhubung antara 2 elektroda dimanfaatkan untuk memperkirakan sifat materi, seperti konduktivitas dan mobilitas pembawa muatan.



Gambar 2.2: Karakteristik statik FET

OFET didasarkan pada *Organic semiconductors* (OSC) dan beroperasi melalui aplikasi reversibel 2 medan listrik (Byung Jun Jung, dkk, 2011). Kedua sisi medan listrik adalah medan antara S/D vertikal dan antara$G$ dan semikonduktor. Medan listrik G menginduksi lapisan pembawa muatan pada antarmuka dielektrik dan OSC dielektrik, yang disebut*" channel "*. Besarnya *channel* bergantung kapasitansi dielektrik dan medan listrik G. Mobilitas OSC menggambarkan perpindahan elektron yang terus menerus ke bahan dan terkumpul di *(channel)* serta diinduksi oleh medan listrik D. Aplikasi model analitis matematik telah diusulkan oleh (Horowitz, 2000) untuk transistor organik berbasis film tipis. Prinsip utama model ini didasarkan pada pendekatan *(channel)*, yaitu jarak antara dua kontak S ke D yang digunakan. Pendekatan berdasarkan *channel* umumnya banyak diterapkan, ketika medan listrik sepanjang *channel* jauh lebih kecil dibanding dengan ke seberang daerah antara (S dan D).

Model analitis ini, harus menggunakan beberapa asumsi lebih dahulu, sebagai berikut: pertama adalah mobilitas pembawa muatan semikonduktor adalah tetap, kedua kepadatan dari pembawa muatan bebas dan *dopant* adalah sama. Transisitor IGFET *(isolated gate field effect transistor)* merupakan teori yang valid untuk menentukan arus I_{DS} yang mengalir memenuhi persamaan regresi linier, sebagai berikut:

$$I_{DS} = \frac{(WC_i\mu)(V_{GS} - V_T)^2}{2L} \tag{2.1}$$

Dimana: μ= mobilitas pembawa muatan, C_i= kapasitansi insulator per unit area, V_{GS}= tegangan diantara G dan S, L= panjang *channel* dan V_T= tegangan ambang *(threshold)*. Untuk menentukan mobilitas pada daerah linier (μ_i) digunakan persamaan (3.4), sedangkan untuk tegangan ambang *(V_T)* digunakan grafik antara $(I_{DS})^{1/2}$ vs V_{GS}.

Menentukan mobilitas pembawa muatan (μ) OFET ada 2 daerah, yaitu daerah linier dan saturasi. Untuk menentukan mobilitas pada daerah linier, maka digunakan persama-

an sebagai berikut:

$$I_{DS} = \frac{(WC_i\mu)}{2L}[(V_T - V_{GS})V_{DS} + \frac{V_{DS}^2}{2}] \tag{2.2}$$

$$V_{DS}(V_{DS}/I_{DS(sat)}) = V_{DS(sat)} = -(V_T - V_{GS}) \tag{2.3}$$

Untuk menentukan mobilitas pembawa muatan daerah saturasi, digunakan persamaan :

$$I_{DS(sat)} = \frac{(WC_i\mu)}{L}(\frac{V_{DS(sat)}^2}{2}) \tag{2.4}$$

Dari persamaan (3.5) dan (3.6) diperoleh:

$$\sqrt{I_{DS(sat)}} = \sqrt{\frac{(WC_i\mu)}{2L}}[V_{DS(sat)}] \tag{2.5}$$

Penyelesaian dari persamaan (3.7) untuk menentukan mobilitas pembawa muatan (μ) dan mendefinisikan gradien *(m)* dari grafik antara $(I_{DS})^{1/2}$ dengan V_{GS}:

$$m = \sqrt{\frac{(WC_i\mu)}{2L}} \tag{2.6}$$

2.5 Uji Kinerja OFET Sebagai Sensor Gas

Pengujian OFET yang diaplikasikan untuk sensor gas, meliputi: waktu respon dan waktu pulih. Adapun cara pengujiannya sensor gas , sebagai berikut: sensor gas ditempatkan dalam *glass chamber* dan ditutup dengan metalik dilindungi pernis untuk menghindari kebocoran gas. Gas uji yang mempunyai volume tertentu dimasukan ke dalam *glass chamber*, selanjutnya dilakukan pengukuran I_{DS} dan V_{DS} dengan interval waktu tertentu.

Metode pengujian kinerja OFET yang diaplikasikan sensor gas, sebagai berikut:

1. OFET dimasukkan dalam tabung (*chamber*)
2. Udara dalam tabung dikeluarkan, hingga arus I_{DS} stabil pada nilai tertentu.
3. Gas yang akan diuji kinerjanya dimasukkan tabung dan diamati setiap 15 detik, hingga kuat arus mencapai stabil.
4. Gas uji dikeluarkan dari tabung dan diamati arusnya I_{DS} untuk setiap 15 detik.
5. Langkah 1 sampai dengan 4 diulang untuk OFET dengan panjang *channel* yang berbeda: 100 μm, 200 μm dan 300 μm.

Sensitivitas sensor merupakan ukuran seberapa sensor dapat mengenali gas yang dideteksinya. Sensor gas yang baik mampu mendeteksi gas, meskipun jumlah zat sedikit

dibandingkan dengan jumlah gas disekelilingnya. Pada umumnya resistansi yang dihasilkan ditentukan oleh jenis material sensor. Material tipe-p, nilai resistansi bertambah besar ketika bereaksi dengan gas pereduksi, ketika sensor bereaksi dengan gas pengoksidasi resistansi akan berkurang. Hal ini berlaku juga sebaliknya untuk material tipe-n.

Rumus untuk menghitung sensitivitas sensor gas, sebagai berikut:

- Untuk material sensor tipe-p dan gas berupa oksidator:

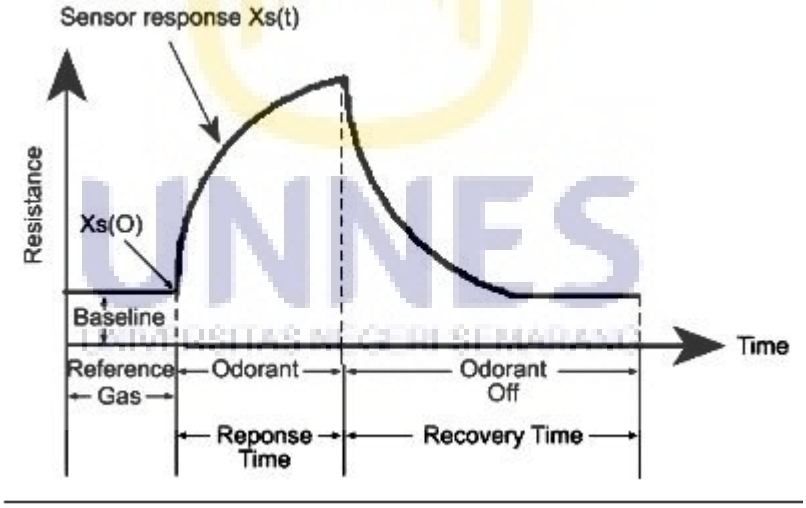
$$S_g = \frac{\Delta R}{R_o} = \frac{R_o - R_g}{R_o} \tag{2.7}$$

- Untuk material sensor tipe-n dan gas berupa pereduksi:

$$S_g = \frac{R_o}{\Delta R} = \frac{R_o}{R_o - R_g} \tag{2.8}$$

2.5.1 Waktu tanggap dan waktu pemulihan

Response time adalah kemampuan sensor untuk mengenali gas yang dideteksinya, sedangkan waktu pulih (*recovery time*) sensor adalah waktu yang dibutuhkan sensor untuk kembali pada posisi normalnya. Tanggap waktu t_{80} didefinisikan sebagai waktu untuk mencapai 80% arus maksimum dan waktu pemulihan t_{80} didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan untuk melepaskan dari 80 % arus pada keadaan maksimum (Liu dkk, 1996).



Gambar 2.3: Respon sensor *E-nose* untuk bau (Arshak, K. et al, 2004)

Respon dari sensor e-nose untuk aroma (bau) pada umumnya dianggap sebagai respon waktu orde pertama. Analisis aroma dari sensor pada tahap awal merupakan ekspose aroma referensi (acuan) pada sensor untuk memperoleh data dasar. Sensor terekspose aroma (bau) akan menyebabkan perubahan dalam sinyal *output* sensor hingga mencapai *steady state*. Bau yang mengenai sensor, akhirnya terlepas keluar dari sensor dengan

menggunakan gas referensi, maka sensor tersebut kembali ke data dasar yang ditunjukkan Gambar 2.3. Waktu selama sensor terkena bau disebut sebagai waktu tanggap *(response time*) sementara waktu dibutuhkan sensor untuk kembali ke resistansi awal yang disebut waktu pemulihan (*recovery time*).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Bab 3

MATERIAL SEMIKONDUKTOR

3.1 Konduktor, Isolator dan Semikonduktor

Bahan- bahan yang berhubungan dengan arus listrik dapat dibagi menjadi 3 bagian, yaitu:

1). Bersifat Konduktor

Konduktor adalah bahan yang dapat menghantarkan arus listrik sehingga sering disebut penghantar listrik yang baik. Pada konduktor yang baik, jumlah elektron bebas terletak pada lintasan yang paling luar adalah banyak dan bebas bergerak. Misalkan pada bahan tembaga setiap atom tembaga menyumbangkan 1 elektron bebas. Tembaga sebagai zat yang memiliki nomor atom 29, mempunyai satu elektron bebas pada kulit terluarnya, elektron ini yang bertugas untuk menghantarkan listrik ketika penghantar tersebut diberi tegangan.

2). Bersifat Isolator

Isolator adalah bahan yang tidak dapat menghantarkan arus listrik, hampir seluruh bahan non logam adalah isolator. Contoh isolator adalah asbes, kayu kering, gelas, plastik, karet, udara dll. Dalam bahan isolator, elektron-elektron tidak bebas bergerak . Hal ini karena setiap atom bahan isolator terikat dengan kuat satu dengan yang lainnya. Pada isolator, setiap muatan elektron terikat oleh inti atomnya, sehingga pada suhu ruangan tidak mungkin adanya pengaliran arus listrik. Apabila isolator diberi tegangan besar sehingga menghasilkan energi listrik yang mampu mengatasi energi pengikat elektron, elektron akan dapat berpindah. Dengan demikian isolator dapat mengalirkan arus listrik.

3). Bersifat Semikonduktor

Semikonduktor adalah sebuah bahan (material) yang memiliki sifat konduktivitas listrik yang berada di antara isolator dan konduktor. Sebuah material semikonduktor bersifat sebagai isolator pada temperatur yang sangat rendah, namun pada temperatur ruangan bersifat sebagai konduktor. Bahan semikonduktor yang sering digunakan

adalah silikon (Si), germanium (Ge), dan gallium arsenide. Terdapat dua jenis semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik, semikonduktor intrinsik biasanya hanya terdiri dari Ge atau Si saja, sedangkan semikonduktor ekstrinsik gabungan dari dua jenis bahan atau lebih.

Semikonduktor sangat berguna di bidang elektronik, karena konduktansinya dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan materi lain (biasa disebut materi *doping*). Salah satu alasan utama kegunaan semikonduktor dalam elektronik adalah sifat elektroniknya dapat diubah dengan cara menambah sejumlah kecil ketidakmurnian. Ketidakmurnian ini disebut dopan. Pada umumnya, komponen dasar aktif elektronika terbuat dari bahan-bahan semikonduktor misalnya dioda, transistor, dan IC (*Integreted Circuit*).

Semikonduktor adalah bahan dengan konduktivitas listrik yang berada di antara isolator dan konduktor. Sebuah semikonduktor bersifat sebagai isolator pada temperatur yang sangat rendah, namun pada temperatur ruangan bersifat sebagai konduktor. Bahan semikonduktor yang sering digunakan adalah silikon (Si), germanium (Ge), dan gallium arsenide. Terdapat 2 jenis semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik dan ekstrinsik, semikonduktor intrinsik biasanya terdiri dari Ge atau Si saja, sedangkan semikonduktor ekstrinsik gabungan dari dua jenis bahan atau lebih. Semikonduktor sangat berguna dalam bidang elektronik, karena konduktansinya yang dapat diubah-ubah dengan menyuntikkan materi lain (biasa disebut materi *doping*).

Salah satu alasan utama kegunaan semikonduktor dalam elektronik adalah sifat elektroniknya dapat diubah secara terkontrol dengan menambah sejumlah kecil ketidakmurnian. Ketidakmurnian ini disebut dopan. Pada umumnya, komponen dasar aktif elektronika terbuat dari bahan-bahan semikonduktor misalnya dioda, transistor, dan IC (*Integreted Circuit*).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

3.2 Karakteristik Material Semikonduktor

Semikonduktor elemental terdiri atas unsur-unsur yang terdapat pada sistem periodik golongan IV A seperti silikon (Si), Germanium (Ge) dan Karbon (C). Karbon semikonduktor ditemukan dalam bentuk kristal intan.Semikonduktor intan memiliki konduktivitas panas tinggi sehingga dapat digunakan untuk mengurangi efek panas pada pembuatan semikonduktor laser. Semikonduktor gabungan terdiri atas senyawa yang dibentuk dari logam unsur periodik golongan IIB dan IIIA (valensi 2 dan 3) dengan non logam golongan VA dan VIA (valensi 5 dan 6) sehingga membentuk ikatan stabil (valensi 8). Semikonduktor gabungan III dan V misalnya GaAs dan InP, sedangakan gabungan II dan VI misalnya CdTe dan ZnS.

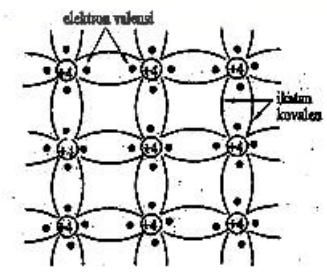
3.3 Bahan Semikonduktor

Material semikonduktor adalah suatu material yang mempunyai daya hantar listriknya antara konduktir dan isolator. Tahanan jenis semikonduktor sekitar 10^{-3} Ωm sampai dengan 10^{+3} Ωm. Atom-atom bahan semi konduktor membentuk krristal dengan struktur *tetrahedral*, dengan ikatan kovalen. Bahan semikonduktor yang banyak dipakai dalam elektkronika adalah silikon (Si) dan Germanium (Ge). Pada 0^0 K SI mempunyai lebar pita terlarang (energy gap) 0,785 eV, sedang untuk Ge 1,21 eV. Baik Si maupun Ge mempunyai elektron valensi 4. Ada 2 jenis bahan semikonduktor yaitu semikonduktor intrinsik (murni) dan semi konduktor ekstrinsik (tidak murni). Untuk semikonduktor ekstrinsik ada 2 tipe yaitu tipa P dan tipe N.

Semikonduktor elemental terdiri atas unsur-unsur yang terdapat dalam sistem periodik pada golongan IV A seperti silikon (Si), Germanium (Ge) dan Karbon (C). Unsur karbon (C) pada semikonduktor ditemukan dalam bentuk kristal intan.Semikonduktor intan memiliki konduktivitas panas tinggi sehingga dapat digunakan untuk mengurangi efek panas pada pembuatan semikonduktor laser. Semikonduktor gabungan terdiri atas senyawa yang dibentuk dari logam unsur pada sistem periodik golongan IIB dan IIIA (yang mempunyai valensi 2 dan 3) dengan non logam golongan VA dan VIA (valensi 5 dan 6) sehingga membentuk ikatan yang stabil (valensi 8). Semikonduktor gabungan III dan V misalnya GaAs dan InP, sedangakan gabungan II dan VI misalnya CdTe dan ZnS.

3.3.1 Semikonduktor Intrinsik (murni)

Si dan Ge merupakan 2 jenis semikonduktor yang penting dalam elektronika. Keduanya terletak pada kolom 4 dalam tabel periodik dan mempunyai elektron valensi 4. Struktur kristal Si dan Ge berbentuk tetrahedral dengan setiap atom memakai bersama sebuah elektron valensi dengan atom-atom tetangganya. Gambar 3.1 memperlihatkan bentuk ikatan kovalen dalam 2 dimensi. Pada temperatur mendekati harga nol mutlak, elektron kulit terluar terikat dengan erat, sehingga tidak terdapat elektron bebas.



Gambar 3.1: Ikatan kovalen silikon dalam dua dimensi

Energi yang diperlukan mtuk memutus sebuah ikatan kovalen adalah sebesar 1,1 eV untuk silikon dan 0,7 eV untuk germanium. Pada temperatur ruang (300 ^{o}K), sejum-

lah elektron mempunyai energi yang cukup besar untuk melepaskan diri dari ikatan dan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi menjadi elektron bebas.

3.3.2 Semikonduktor Ekstrinsik (Tak Murni)

Si dan Ge merupakan salah satu contoh dari bahan semikonduktor. Jika suhu kedua bahan ini meningkat diatas suhu kamar maka kedua bahan ini akan bersifat konduktor. Sedangkan jika suhu kedua bahan tersebut turun menjadi dibawah suhu kamar maka nilai tahanannya meningkat dan jika sudah mencapai titik maksimal maka kedua bahan ini akan bersifat isolator. Terdapat 3 klasifikasi utama dalam elektronika yang sering dijumpai yakni: isolator, konduktor dan semikonduktor. Perbedaan mendasar ketiga jenis bahan adalah terletak pada tahanan jenis tiap bahan. Untuk isolator memiliki tahanan jenis (10^4 - 10^{14}) Ωm, konduktor memiliki tahanan jenis (10^{-7}- 10^{-8}) Ωm, semikonduktor memiliki tahanan jenis (10^{-3} - 3 x 10^3) Ωm. Tabel 3.1 adalah contoh hambatan jenis dari bahan-bahan untuk isolator, konduktor dan semikonduktor.

Tabel 3.1: Hambatan Jenis

Konduktor	(Ohm-meter)	Isolator	(Ohm-meter)	Semikonduktor	(Ohm-meter)
Aluminium	2,63 x 10^{-8}	Gelas	10^{10} - 10^{14}	Silicon	2,3 x10^{-1}
Karbon	3500 x 10^{-8}	Mika	10^{11} - 10^{15}	Germanium	4,5 x10^{-1}
Tembaga	1,72 x 10^{-8}	Kwarsa	10^{18}		
Perak	1,47 x 10^{-8}	Kayu	10^8 - 10^{11}		
Wolfram	5,51 x 10^{-8}	Kaca	10^{12} - 10^{13}		
Baja	4,0 x 10^{-7}				

Pada bahan konduktor, ketika suhu meningkat maka tahanannya juga mengalami peningkatan, sedangkan bahan semikonduktor, jika suhu semikonduktor meningkat maka tahanannya akan turun. Dari uraian di atas nilai tahanan bahan jenis isolator adalah yang tertinggi dari semua bahan, sehingga memiliki sifat kurang baik menghantarkan arus. Bahan konduktor nilai tahanan jenisnya terendah sehingga sangat baik digunakan sebagai penghantar arus. Semikonduktor memiliki nilai tahanan jenis berada diantara isolator dan konduktor, sehingga bahan semikonduktor memiliki 2 sifat yang berbeda, yaitu sifat isolator maupun konduktor. Bahan semikonduktor banyak digunakan pada komponen aktif elektronika, misalnya: dioda, transistor, OLED (*Organic Light-Emitting Diode* dan IC (*Integrated Circuit*).

Semikonduktor murni memiliki jumlah proton dan elektron seimbang tetapi jika ditambahkan bahan yang tidak murni, maka semikonduktor akan berubah menjadi tidak murni, proses ini dinamakan *"doping"*. Proses *doping* dengan menambahkan bahan *antimony*, *arsenic* atau *phosphorus* yang memiliki kelebihan elektron pada semikonduktor

murni, menyebabkan semikonduktor memiliki kelebihan elektron dan menjadikannya sebagai semikonduktor tipe-N. Proses *doping* menambahkan bahan *indium*, *aluminium*dan *boron* yang memiliki kelebihan proton menyebabkan semikonduktor memiliki kelebihan proton dan menjadikannya sebagai semikonduktor tipe-P.

Hasil kedua *doping* inilah yang digunakan pada komponen elektronika seperti pada diode dan transistor. Diode merupakan penggabungan 2 tipe semikonduktor tipe-N dan tipe-P, sedangkan transistor merupakan penggabungan 3 semikonduktor tipe-N, tipe-P dan salah satu dari tipe-N atau tipe-P, sehingga pada transistor bipolar terdapat 2 konfigurasi gabungan semikonduktor yaitu P-N-P atau N-P-N. Dalam elektronika kita tidak mungkin terlepas dari apa yang dinamakan bahan listrik.

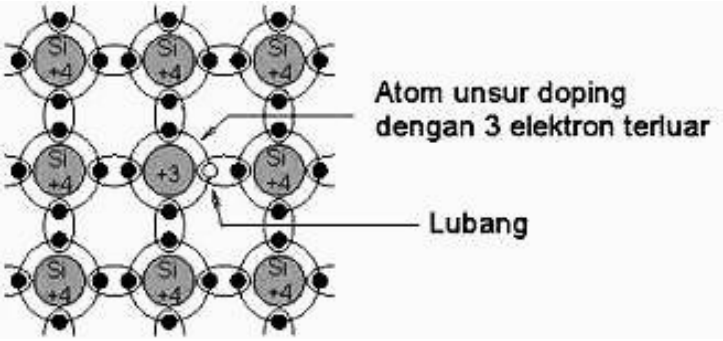
3.3.3 Jenis Semikonduktor Ekstrinsik

Semikonduktor ekstrinsik terdapat 2 tipe semikonduktor, yaitu semikonduktor tipe P dan semikonduktor tipe N. Semikonduktor tipe P adalah semikonduktor yang terdiri dari campuran atom-atom yang tidak memiliki elektron bebas dan bersifat menerima elektron. Misalnya unsur Ge bercampur dengan gallium (Ga). Pada semikonduktor jenis p , lubang (*hole*) bertindak sebagai muatan positif , oleh karena itu komponen ini sering disebut sebagai pembawa muatan minoritas.

Semikonduktor tipe N adalah semikonduktor intrinsik yang dicampur dengan atom lain sehingga menyebabkan kenaikan jumlah elektron negatif yang bebas, misalnya unsur silikon (Si) dengan arsen (Ar). Semikonduktor tipe N, lubang (*hole*) bertindak sebagai muatan negatif, oleh karena itu komponen ini sering disebut pembawa muatan minoritas, sedangkan elektron sebagai muatan positif disebut pembawa muatan mayoritas. Penggabungan semikonduktor tipe P dan semikonduktor tipe N pada komponen elektronika diantaranya adalah dioda dan transistor.

A. Semikonduktor tipe P

   Semikonduktor tipe P diperoleh dari semikonduktor intrinsik yang mendapat pengotor dengan atom asing yang bervalensi 3, misalnya Al atau Ga. Karena perbandingan atom pengotor dengan atom asli sangat kecil, maka setiap atom pengotor hanya bervalensi 3, maka hanya menyediakan 3 elektron dalam ikatan kovalen, sehingga kekurangan (*hole*). Pengotoran ini menyebabkan meningkatnya jumlah *hole* (sebagai pembawa muatan mayoritas). Sedangkan pembawa muatan moniritasnya adalah elektron bebas yang terbentuk adalah elektron bebas yang terbentuk akibat suhu. Semikonduktor ini memiliki pembawa muatan mayoritasnya *hole* bermuatan positif maka semikonduktor ini disebut tipe P. Jadi bukan berarti semikonduktor tipe P bermuatan positif, tetapi semikonduktor ini tetap netral. Karena atom pengotor menyediakan kekurangan elektron maka disebut aseptor. *Hole* mudah terisi elektron dan elektron pengisi meninggalkan *hole* baru dan seterusnya sehingga ada gerakan *hole*.



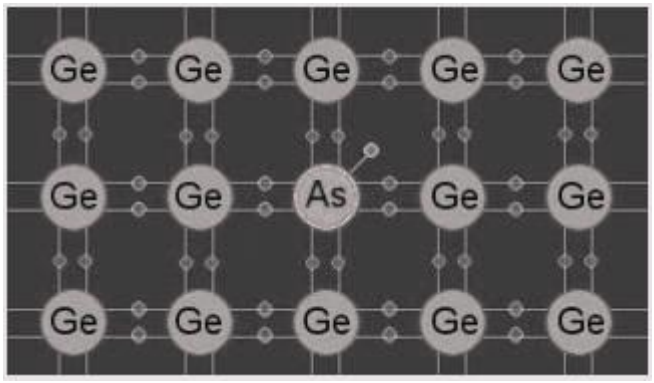
Gambar 3.2: Semikonduktor Tipe P

B. Semikonduktor tipe N

Semikonduktor ekstrinsik adalah semikonduktor instrinsik yang mendapat *doping* atom-atom asing. Konsentrasi pengotoran ini sangat kecil, dengan perbandingan atom pengotor (asing) dengan atom asli berkisar antara 1 : 100 juta sampai dengan 1 : 1 juta. Tujuan ini adalah agar bahan mempunyai satu jenis pembawa muatan saja (elektron bebas atau *hole* saja) dan untuk memperbesar daya hantar listrik. Semikonduktor tipe N adalah semikonduktor eksintrik yang diperoleh dari semikonduktor intrinsik yang dikotori dengan atom asing yang bervalensi 5, seperti: As, Pb dan P.

Perbandingan atom pengotor dengan atom asli sangat kecil maka setiap atom pengotor dikelilingi atom asli. Elektron valensi yang ke 5 dari atom pengotor tidak terikat dalam ikatan kovalen sehingga menjadi elektron bebas. Bahan ini jumlah elektron bebas akan meningkat sesuai jumlah atom pengotornya sehingga elektron bebas menjadi pembawa muatan mayoritas dan *hole* menjadi pembawa muatan minoritas. Karena pembawa muatan mayoritasnya adalah elektron bebas, sedang elektron bebas bermuatan negatif maka semikonduktor yang terbentuk diberi nama semikonduktor tipe N.

Kotoran donor adalah suatu unsur pentavalen (unsur yang mempunyai 5 elektron valensi) yang dipakai untuk mengotori semikonduktor intrinsik sehingga menjadi semikonduktor tipe-N. Setiap atom kotoran donor membentuk empat ikatan kovalen dengan empat atom semikonduktor di sampingnya, menyisakan elektron kelima yang terikat lemah dan mudah berpindah jika ada medan listrik yang dikenakan. Elektron-elektron yang dimasukkan untuk mengotori semikonduktor murni dengan kotoran donor membuat tipe-N ini resistivitasnya rendah. Taraf pengotoran yang umum dalam semikonduktor adalah 0,01 ppm. Kotoran donor yang banyak dipakai adalah *fosfor*, *arsen* dan *antimon*.



Gambar 3.3: Semikonduktor Tipe N

Untuk meningkatkan jumlah elektron bebas di dalam Si kita memerlukan unsur yang ada 5 elektron valen seperti As. Apabila As ditambah ke dalam Si ia dinamakan *doping*. Selepas *doping* ikatan kovalen Si dan As, berlaku ikatan kovalen hanya boleh 4 elektron tetapi As ada 5 elektron. Oleh itu semikonduktor ini mempunyai 1 elektron bebas yang mempunyai ikatan yang sangat lemah. Disebabkan jumlah elektron lebih dari lubang (*hole*), maka disebut tipe N.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Bab 4

SEMIKONDUKTOR ORGANIK CuPc

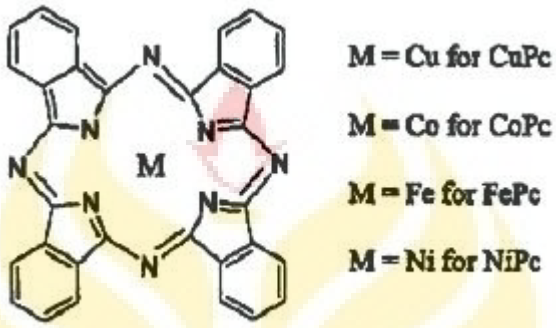
Material semikonduktor pada umumnya dimanfaatkan sebagai bahan komposisi komponene elektronika dan aplikasi sangat luas seperti pada divais *integrated circuit* (IC), transistor, dioda dan lain-lainnya. Sehingga saat ini dibutuhkan pengetahuan komposisi bahan semikonduktor dan akibat komponen teraliri arus listrik. Pengetahuan tentang bahan penyusun semikonduktor yang banyak dikembangkan pada saat ini dengan teknologi film tipis, sehingga tidak asing lagi tentang percampuran bahan semikonduktor tersebut atau *doping*. Pemahaman pengelompokan bahan, pengertian semikonduktor dan aplikasi komposisi semikonduktor tipe (P dan N) sangat penting. Teknologi semikonduktor dan pengembangan ke arah teknologi film tipis akan didapatkan divais (peralatan) yang makin praktis dan bersifat *mobile*.

4.1 Material *phthalocyanine*

Material *Phthalocyanine* telah menyita perhatian para peneliti terutama bidang piranti opto-elektronik dan *Organic Light Emitting Diode* (OLED). Dimana material semikonduktor organik *phthalocyanine* dapat digunakan sebagai *Hole Transport Layer*dan aplikasi sensor gas berbasis film tipis. *Phthalocyanine* merupakan keluarga dari turunan *Phorpyrin* yang stabil, mempunyai tingkat kesimetrian yang tinggi, planaritas dan delokalisasi elektron tinggi (Yin, 2001). Senyawa *phthalocyanine* mempunyai indeks bias kompleks yang bergantung pada fungsi panjang gelombang. Senyawa *phthalocyanine* mempunyai struktur kimia yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Material semikonduktor organik *phthalocyanine* dan paduannya memiliki aspek potensi komersial yang sangat baik dan menawarkan beberapa aplikasi yang lebih unggul dibanding dengan semikonduktor silikon (Si). Material semikonduktor ini juga memperlihatkan adanya kepekaan yang sangat tinggi pada elektron akseptor gas dan absorbsi pada permukaan kristal yang diikuti oleh adanya reaksi transfer muatan. Berdasarkan

penelitian yang telah dilakukan oleh (Zhou et al, 1996). *Phthalocyanine* merupakan logam kompleks yang sangat sesuai untuk divais (peralatan) sensor gas dan sangat sensitif terhadap gas NO_2 (nitrogen dioksida). Logam *phthalocyanine* (MPc) adalah material semikonduktor organik yang mempunyai kepekaan sangat tinggi terhadap akseptor elektron gas, seperti gas NO_2. Untuk mendeposisikan lapisan (film) tipis dari material semikonduktor MPc metode yang paling banyak digunakan adalah penguapan pada vakum tinggi. Fakta menunjukkan bahwa material MPc mempunyai daya larut yang sangat rendah terhadap pelarut material organik.



Gambar 4.1: Struktur kimia senyawa turunan *phthalocyanine* (Yin, 2001)

Material semikonduktor organik telah dilakukan riset/ penelitian sejak tahun 1940. Setelah ditemukan material semikonduktor organik, kemudian dibuat suatu dioda berbasis molekul oleh Aviram pada tahun 1974. Hal inilah yang menyebabkan riset mengenai piranti organik berkembang semakin pesat. Piranti elektronika berbasis semikonduktor organik diproduksi dalam bentuk film tipis, karena material tersebut mempunyai rapat pembawa muatan yang kecil. Prinsip kerja dari piranti-piranti elektronik tersebut adalah adanya sambungan antara logam dan semikonduktor organik, sehingga ketika logam dan semikonduktor disambungkan terjadi proses perpindahan elektron dari logam menuju pada semikonduktor organik (Ishii et al, 1999).

Divais dengan prinsip kerja memanfaatkan sambungan logam dan semikonduktor antara lain: OFET, OLED dan OPV. Transistor efek medan organik (OFET) adalah transistor yang menggunakan semikonduktor organik, dimana sambungan antara logam semikonduktor dipengaruhi oleh efek medan listrik (Horowitz, 1998). OLED pertama kali ditemukan sekitar tahun 1987, dimana OLED (*Organic Light Emiting Diode*) atau dioda cahaya organik biasanya diproduksi dalam bentuk (*thin film.*

Semikonduktor organik yang digunakan pembuatan OLED terdiri atas *small molecules* dan polimer. OLED ini digunakan sebagai layar televisi, komputer, layar *hand phone* dan lain-lainnya. Prinsip kerja OLED berbeda dengan LED, jika LED berdasarkan sambungan elektrik antara tipe (P dan N) dari material yang didoping, sedangkan *display* OLED menggunakan senyawa organik yang mengeluarkan cahaya apabila diberi arus listrik.

4.2 Material *Copper phthalocyanine* (CuPc)

Substansi, berbagai nama lain dari zat kimia material semikonduktor organik CuPc (*Copper Phthalocyanine*) adalah (29H, 31H-*phthalocyaninato* (2-)-N29, N30, N31, N32). *Copper Phthalocyanine* (CuPc) juga dikenal sebagai material semikonduktor *monastral blue*, *phthalo blue*, *Helio blue*, *thalo blue*, *Winsor blue*, *phthalocyanine blue*, C.I. *pigment blue* 15:2, *copper phthalocyanine blue*, *copper tetrabenzoporphyrazine*, Cu-*Phthaloblue*, PB-15, PB-36 dan C.I. 74160.

Banyak nama lain yang pada umumnya digunakan dari material semikonduktor organik CuPc (*Copper Phthalocyanine*) yang beredar di perdagangan dengan sinonim yang ada. Bahan *copper phthalocyanine* sering disebut sebagai CuPc, juga merupakan bahan utama yang digunakan dalam penelitian sel surya organik. Material CuPc (*Copper Phthalocyanine*) dapat dengan mudah diproses menjadi film tipis untuk digunakan dalam pembuatan perangkat elektronika dan divais lain yang sangat menarik (https://en.wikipedia.org/wiki/CuPc). Disamping itu senyawa *copper phthalocyanine* memiliki kegunaan dalam pengembangan komputasi kuantum karena durasi elektron dapat eksis dalam keadaan superposisi kuantum (Warner et al, 2013).

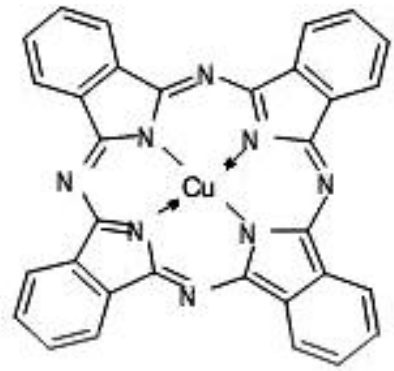
Dikarenakan kestabilannya material *phthalo blue* atau CuPc, maka dapat juga digunakan pada tinta, pelapis dan bermacam-macam plastik. Pigmen tersebut tidak dapat larut dan tidak memiliki kecenderungan untuk berubah dalam materi. Hal ini merupakan pigmen standar yang digunakan dalam tinta cetak dan industri kemasan. *Phthalo blue* disebut juga dengan nama *cool blue* (biru dingin) dan mempunyai bias terhadap warna hijau. Material *phthalo blue* memiliki kekuatan yang tinggi dan dengan mudah mengalahkan dalam campuran bila dikombinasikan dengan warna lain. Hal ini disebabkan material *phthalo* memiliki warna pewarnaan yang transparan dan dapat diaplikasikan dengan menggunakan teknik kaca. Produksi industri dari bahan ini mencapai 10.000 ton per tahun pada tahun 1980-1990s di Jepang sendiri (https://en.wikipedia.org/wiki/CuPc).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

4.3 Struktur, reaktivitas dan sifat material *copper phthalocyanine* (CuPc)

Rumus molekul dari *phthalocyanine blue* (CuPc) adalah ($C_{32}H_{16}N_8Cu$) merupakan campuran yang komplek tembaga dengan phthalosianin. Massa molekul adalah 576,08, titik leleh 600 ^oC (dengan dekomposisi), substansi yang praktis tidak larut dalam air (lebih besar dari 0,1 g/ 100 ml pada 20 ^oC), akan tetapi larut dalam asam sulfat pekat dan mempunyai Kepadatan adalah $\sim$ 1,6 g/ cm^3. Warna dari CuPc disebabkan karena π π^*-transisi elektronik, dengan panjang gelombang maksimum $\lambda_{max} \sim$ 610 nm. Senyawa material CuPc memiliki sifat kimia *non-biodegradable* dan tidak beracun untuk ikan

maupun tanaman. Tidak ada bahaya tertentu yang berkaitan dengan senyawa *copper phthalocyanine* (CuPc). (https://en.wikipedia.org/wiki/CuPc).



Gambar 4.2: Struktur molekul CuPc (Puigdollers, 2006)

Material semikonduktor organik seperti *phthalocyanine* telah mendapatkan perhatian besar dalam beberapa tahun ini terutama sebagai detektor gas, komponen aktif sel surya, LED, *photovoltaik*, pewarna dan sistem optik penyimpan data (El-Nahass et al, 2006). CuPc merupakan semikonduktor organik yang menunjukkan sensitivitas yang sangat tinggi untuk mendeteksi gas seperti NO_2 dan Cl_2. Pada bahan organik tingkat energi teratas yang ditempati elektron biasa disebut sebagai HOMO dan tingkat energi terbawah yang tidak ditempati elektron biasa disebut sebagai LUMO dengan lebar celah energi diantara keduanya.

Material *Copper phthalocyanine* (CuPc) merupakan bahan semikonduktor organik yang mempunyai sifat sebagai semikonduktor tipe-p, dengan LUMO sebear 3,5 eV dan HOMO sebesa 5,2 eV (Triyana, 2004). Pembuatan divais elektronika semikonduktor organik CuPc dapat dibuat lapisan tipis (film tipis) dengan menggunakan logam tertentu sebagai elektroda.

Pada permulaan OFET (*Organic Field Effect Transistor*) diproduksi dari bahan *polythiophene film* pada akhir tahun 1970. Dengan adanya bahan ini memungkinkan untuk mengawali adanya deposisi film tipis berbasis semikonduktor organik yang memiliki jarak molekul lebih kecil. Pada saat ini banyak variasi campuran semikonduktor organik yang dikarakterisasi untuk fabrikasi OFET dan sintesis material baru. Material organik paling banyak digunakan pada fabrikasi OFET adalah*tipe conjugated organic oligomers* dan *polymer* berbasis semikonduktor organik.

Polymer dan molekul kecil telah digunakan sejak permulaan, dikarenakan menjajikan keuntungan. Beberapa keutungan semikonduktor organik jika dibandingkan semikonduktor inorganik berbasis Si, yakni ramah lingkungan, mudah dan murah dalam fabrikasi serta hemat operasionalnya. Kelemahan utama pada bahan tersebut adalah adanya unjuk kerjanya yang masih lebih rendah dari pada molekul kecil, maka perlu dilakukan riset untuk perbaikan.

Ketika terjadi perbedaan mobilitas pembawa muatan, maka semikonduktor diklasifikan sebagai *P-type* dan *N-type*. Pada *P-type semiconductors* mobilitas pembawa muatan mayoritas adalah lubang, sedangkan semikonduktor *N-type*, mobilitas pembawa muatan mayoritas adalah elektron. Aplikasi riil semikonduktor organik paling banyak diteliti adalah dari *P-type*. Sedangkan *N-type* tidak banyak diteliti karena mobilitas pembawa muatan efek medan relatif rendah. Disamping itu kepekaan terhadap udara dan embun kurang baik sehingga jarang untuk fabrikasi OFET. Dalam buku akan paparkan deposisi film tipis CuPc menggunakan vakum evaporator pada suhu ruang dan karakterisasinya dengan X-RD dan SEM.

4.4 Kandungan unsur dalam CuPc

SEM-EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) merupakan 2 perangkat analisis yang digabungkan menjadi satu panel analitis sehingga mempermudah proses analisis dan lebih efisien. Pada dasarnya SEM-EDX merupakan pengembangan SEM. Analisa SEM-EDX dilakukan untuk memproleh gambaran permukaan/ fitur material dengan resolusi tinggi hingga memperoleh tampilan permukaan sampel, kemudian dikomputasikan dengan *sofwere* untuk menganalitis komponen materialnya, baik secara kuantatif maupun kualitatif. Daftar rangkuman fungsi yang berkontribusi pada operabilitas luar biasa SEM-EDX sebagai berikut:

1) Menu Fungsi ini digunakan untuk mengatur secara bersamaan, menyimpan, dan mengingat parameter untuk analisis SEM dan EDX.

2) Kondisi pengukuran EDX dapat diatur dari Unit SEM.

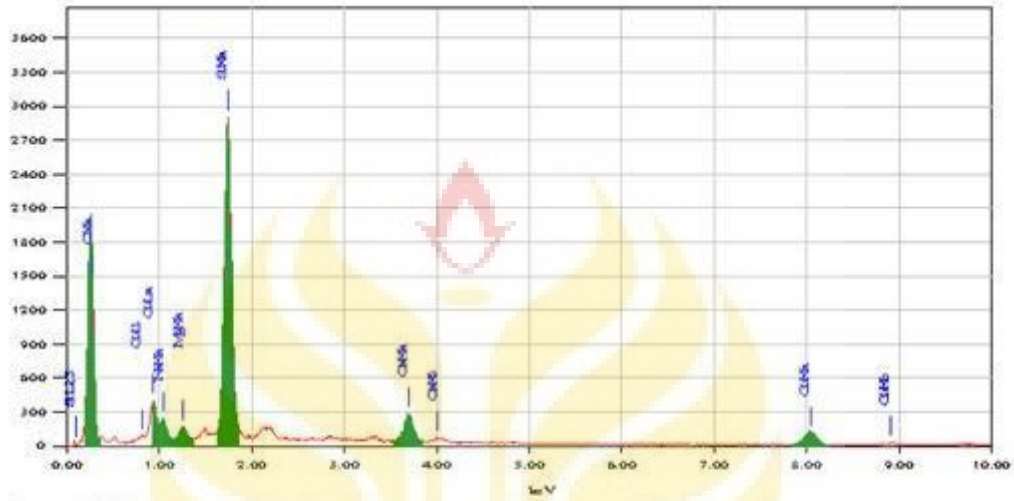
3) *Image* dari data yang diperoleh dari SEM dapat digunakan sebagai data dasar untuk EDX.

4) Menetapkan kondisi untuk unit SEM secara otomatis dipindahkan ke unit EDX.

Pengambilan data dengan alat SEM-EDX, sampel bubuk yang telah diletakkan di atas *specimen holder* dimasukkan kedalam *specimen chamber*, kemudian dimasukkan dalam alat SEM-EDX dan alat siap untuk dioperasikan. Dalam pengukuran SEM-EDX untuk setiap sampel dianalisis dengan menggunakan analisis area. Sinar elektron yang di hasilkan dari *area gun* dialirkan hingga mengenai sampel. Aliran sinar elektron ini selanjutnya difokuskan menggunakan *electron optic columb* sebelum sinar elektron tersebut menumbuk atau mengenai sampel. Setelah sinar elektron membentuk sampel, terjadi beberapa interaksi sampel yang disinari. Interaksi yang terjadi, selanjutnya akan dideteksi dan di ubah ke dalam sebuah gambar oleh analisis SEM dan juga dalam bentuk grafik.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Hasil analisa atau keluaran dari analisis SEM-EDX, yaitu berupa gambar struktur permukaan dari setiap sampel yang diuji dengan karakeristik gambar 3-D serta grafik. Grafik menunjukkan hubungan antara energy (keV) pada sumbu horizontal dengan cacahan pada sumbu pertikal. Dengan grafik ini dapat mengetahui unsur-unsur atau mineral yang terkandung di dalam sampel tersebut. Keberadaan unsur atau mineral tersebut dapat ditentukan atau diketahui berdasarkan nilai energi yang dihasilkan pada saat penembakan sinar elektron primer pada sampel.



Element	(keV)	mass%	Error%	At%	Compound	mass%	Cation	K
C K	0.277	64.87	0.71	84.07			29.1303	
Na K	1.041	1.96	0.66	1.33			3.2777	
Mg K	1.253	1.05	0.52	0.67			1.4419	
Si K	1.739	17.90	0.40	9.92			35.3134	
Ca K	3.690	3.67	0.78	1.42			9.3529	
Cu K	8.040	10.56	3.55	2.59			21.4838	
Total		100.00		100.00				

Gambar 4.3: Hasil scanning elemental ED-X (Sujarwata dan Putut M, 2013)

Untuk mengetahui kandungan unsur dan senyawa material semikonduktor organik CuPc, pengamatan SEM dilanjutkan dengan analisis *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (ED-X). Pengujian aspek kuantitatif dilakukan terhadap citra SEM dengan perbesaran 3000 x dan diperoleh grafik (Gambar 4.3) dan hasilnya disarikan pada (Tabel 4.1). Grafik di atas tampak unsur yang dominan adalah C, Si dan Cu dan S, sedangkan Na, Mg dan Ca kurang dominan.

Tahap terakhir yaitu melakukan karakterisasi film tipis sebaga hasil deposisi dengan metode penguapan hampa udara pada suhu ruang. Karakterisasi film tipis dilakukan menggunakan *Energy Dispersion Analysis for X-Ray* (EDAX), *X-Ray Diffraction* (X-RD) dan *Scanning Electron Microscope* (SEM). Data EDAX dan XRD dianalisis untuk mengetahui penumbuhan film tipis di atas substrat dan orientasi kristal dari film tipis. Berdasarkan karakterisasi EDAX didapatkan data seperti diperlihatkan pada Gambar 4.3.

Tabel 4.1: Kandungan unsur CuPc dari SEM EDX (Sujarwata dan Putut M, 2013)

Kandungan unsur dalam CuPc	Energi dalam (keV)	Perbandingan massa dalam (%)
C	0,277	64,87
Na	1,041	1,96
Mg	1,253	1,05
Si	1,739	17,90
Ca	3,690	3,67
Cu	8.040	10,56
		Jumlah =100

Berdasarkan pada gambar 4.3 terlihat besarnya jumlah persen berat (wt %) unsur penyusun dalam film tipis CuPc sebagai berikut: karbon (C) 28,24%, natrium (Na) 1,041% , magnesium 1,253 %, siliok (Si) 1,739 %, calsium (Ca) 3,690 % dan cuprum (Cu) 8,040 %. Penumbuhan film tipis CuPc sudah berhasil dilakukan terbukti adanya kandungan unsur Cu pada film tipis. Kandungan unsur karbon (C) lebih tinggi dibandingkan dengan unsur yang lain. Hal ini disebabkan karena dalam material CuPc unsur yang paling dominan adalah unsur C (Sujarwata dan Putut M, 2013).

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Bab 5

DEPOSISI FILM TIPIS

Pengertian deposisi secara umum adalah suatu proses perubahan dari gas berubah menjadi padat dikenal sebagai (*desublimation*). Banyak orang menyebut deposisi dengan pengendapan atau pertumbuhan, sebenarnya ketiga istilah itu sama dalam pengertian proses yang dimaksud. Salah satu contoh proses pengendapan adalah proses seperti yang terjadi pada pembekuan udara, uap air berubah menjadi es langsung tanpa terlebih dahulu menjadi cairan. Sama halnya dengan proses terbentuknya salju di awan, serta salju dan embun berubah menjadi beku di tanah. Contoh lain adalah ketika es terbentuk pada daun yang juga disebabkan oleh deposisi. Untuk deposisi terjadi energi panas harus dikeluarkan dari gas. Ketika daun menjadi cukup dingin, uap air di udara sekitarnya daun kehilangan cukup energi panas berubah menjadi padat. Contoh lain dari deposisi fisik adalah proses pembuatan deposisi uap yang digunakan untuk deposit film tipis dari berbagai bahan ke berbagai permukaan.

Technology Thin Film (TFT) merupakan salah satu bagian dari teknologi proses mikro-elektronika/ nano-elektronika untuk fabrikasi komponen-komponen elektronika dan sensor secara *screen-printing*. Sejak petengahan tahun 1960, teknologi proses flim tipis (*thin film*) telah digunakan untuk meminiaturisasi suatu rangkaian elektronika ke dalam sebuah keping substrat, karena kemampuannya menghasilkan jalur konduktor yang sangat kecil. Teknologi *Thin Film* telah banyak digunakan secara luas dalam pengembangan sensor, sebagai contoh: sensor deteksi logam berat, sensor gas dan biosensor. Salah satu contoh aplikasi teknologi *thin film* untuk fabrikasi sensor gas beracun berbasis semikonduktor organik CuPc (Sujarwata dan Putut Marwoto, 2013).

Teknologi deposisi film tipis memberikan kontibusi yang signifikan pada pengembangan divais mikro-elekronika/ nano-elektronika dan opto-elektronika. Karakterisisai berbagai material, seperti metal, semikonduktor dan insulator dianalisis dalam bentuk film tipis. Pemahaman yang baik terhadap karakteristik materialdcalam bentuk lapisan tipis sangat dibutuhkan khususnya untuk mengembangkan peralatan elektronika yang saat ini telah didominasi oleh material berbentuk lapisan tipis. Untuk kebutuhan praktis, penyelidikan karakteristiknya dan pengembangan teknologi penumbuhannya terus dilakukan.

5.1 Metode deposisi film tipis

Metode deposisi film tipis, seperti: metode *spin coating*, mencelupkan bahan (*dipping*) dan sol-gel digunakan untuk mendeposisikan film tipis MPc (Maggioni,G, dkk, 2005). Material CuPc sebagai salah satu contoh dari MPc yang dapat dideposisikan dengan metode alternatif yang baru, yaitu metode deposisi *glow discharge-induced sublimation* (GDS) untuk meneliti aplikasi dari film tipis sebagai sensor gas. Saat yang lalu, bahan tersebut sedang dieksplorasi karakteristiknya sebagai sensor gas maupun sebagai semikonduktor aktif. Karena masih rendahnya mobilitas pembawa muatan, maka dalam bidang elektronika belum bisa diterapkan secara optimal.

Riset tentang lapisan tipis dikaitkan dengan pemanfatan tenaga surya dan divais elektronika dalam berbagai teknolgi terus dikembangkan. Berkaitan teknologin dengan itu maka perkembangan teknologi fabrikasi lapisan tipis dewasa ini juga berkembang sangat pesat, tentu saja dikaitkan dengan aplikasi teknologi untuk kebahagiaan kehidupan umat manusia. Beberapa terapan lapisan tipis tersebut seperti pada teknologi sel surya, Teknologi Laser, Teknologi deteksi sinyal, dan lain- lain. Dalam teknologi fabrikasi lapisan tipis secara global dapat dibedakan dalam dua kelompok (Ohring, 2002) yaitu *Physical Vapor Deposition* (*PVD*) dan *Chemical Vapor Deposition* (*CVD*).

1). Metoda *Physical Vapor deposition* (*PVD*)
Metoda PVD merupakan teknik deposisi dengan uap dan menggunakan adanya reaksi fisika, sebagai contoh:

- *Sputtering* (DC atau RF)
  Merupakan pelepasan atom-atom dari permukaan target oleh *bom bardier* partikel yang berenergi tinggi. Atom-atom dari permukaan target dapat terlepas akibat ion yang dipercepat menumbuk permukaan target melalui proses transfer momentum. Pada sistem *sputtering* model planar 2 elektroda (katoda dan anoda) dalam *vakum chamber* berada pada posisi berhadapan. Katoda dihubungkan dengan sumber RF (radio frekuensi) atau DC dengan tegangan negatif sedangkan anoda tegangan positif. Antara katoda dan anoda terbentuk medan elektromagnet yang berperan menginduksi gas-gas membentuk plasma.
- *Pulsed Laser Deposition* (*PLD*)
  PLD merupakan teknik deposisi yang menggunakan laser sebagai sumber energi untuk mengevaporasi material yang berupa *bulk target*. Kendala utama yang

muncul dari hasil deposisi dengan teknik *pulsed laser deposition* adalah munculnya partikel-partikel material (*particulate*) dengan ukuran yang bervariasi pada permukaan film, sehingga permukaan menjadi kasar (*rough*) yang dapat mengganggu pengembangan *heterostruktur*. Munculnya partikulasi pada permukaan film tersebut disebabkan oleh banyak faktor diantaranya, faktor kerapatan target yang rendah dengan permukaan target yang tidak rata, kerapatan energi laser yang terlampau tinggi dan tekanan parsial gas yang terlampau besar.

2). *Deposition Metoda Chemical Vapor Deposition* (*CVD*)
Dalam proses pembuatan rangkaian terintegrasi lapisan-lapisan silikon dioxide, silikon nitride, polysilikon dan lapisan epitaxi dibuat dengan peralatan deposisi CVD. CVD didefinisikan sebagai formasi lapisan substrat yang tidak rusak pembuatannya, menggunakan reaksi kimia pada phase uap mengandung bahan yang diperlukan. Metode yang dipaparkan dalam buku ini merupakan gambaran umum CVD yang telah banyak digunakan.

Metode deposisi (penumbuhan film tipis) CVD terjadi satu atau lebih gas yang bereaksi di permukaan untuk membentuk lapisan. Lapisan memiliki ketebalan dan komposisi yang *uniform* dan memiliki struktur serta kemurnian yang dapat diprediksi. Sehingga cara bereaksi, bahan-bahan dan perlindungan terhadap kontaminasi memerlukan penangannan baik pada CVD.

Metode CVD (*chemical vapour deposition*) sebagai salah satu metode sintesis karbon *nanotube* merupakan metode yang paling menarik untuk dilakukan dengan alasan lebih murah, mudah, dan kemungkinan aplikasi untuk skala yang lebih besar. Parameter-parameter CVD antara lain adalah sumber karbon dan penyangga katalis yang digunakan, selain temperatur, tekanan dan waktu reaksi. CVD merupakan metode deposisi dengan uap dan menggunakan proses reaksi kimia, contoh :

- *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD)
  Metode deposisi MOCVD adalah salah satu metode deposisi yang memiliki beberapa keunggulan dalam bidang teknologi pembuatan film tipis (Jones and Brien, 1997). Pengontrolan terhadap aliran bahan yang diuapkan, sebagai bahan prekursor yang selanjutnya akan tumbuh membentuk film tipis, dapat dilakukan dengan mudah dan akurat sehingga stoikiometri film dengan baik dapat dikendalikan. Film yang terbentuk memiliki homogenitas yang tinggi. Temperatur penumbuhan yang digunakan relatif rendah dan dapat menumbuhkan film dengan ukuran yang luas dengan tingkat homogenitas yang tinggi (Lu dkk., 1995).

- *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD)
  Reaksi CVD berlangsung pada temperatur tinggi untuk mengatasi energi aktivasi *reactan*. Temperatur tinggi akan merusak substrat, khususnya bagian-bagian metal. Sehingga lebih baik jika energi yang disuplai pada *reactan* lebih selektif, hal ini dapat dilakukan menggunakan plasma. Metoda efisien untuk memecahkan molekul-molekul gas menjadi lebih reaktif adalah dengan *rf plasma*. Dengan plasma *reactan* lebih reaktif dan bereaksi pada temperatur lebih rendah. Plasma dapat timbul pada tekanan yang lebih rendah dari tekanan atmosfir.

  Film tipis Si *amorf terhidrogenasi* (a-Si:H) dideposisi dengan beberapa teknik, seperti rf dan dc *glow discharge*, *photo-CVD*, *ion-cluster beam* dan *sputtering*. *Radio frequency* (rf) *glow discharge* dan *photo-CVD* merupakan teknik deposisi film tipis a-Si:H yang umum digunakan dengan kualitas lapisan yang tinggi. Sistem deposisi plasma untuk Si *amorf* pertama kali dikembangkan oleh Chittick dengan sistem rf induktif, plasma terjadi akibat induksi kumparan (Street, 1991).

  Pengembangan reaktor selanjutnya, digunakan konfigurasi dioda di mana plasma terbentuk di antara 2 elektroda sejajar. Sistem reaktor ini disebut *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD) atau *Glow Discharge*. Frekuensi gelombang radio yang digunakan adalah 13,56 MHz. Dalam proses deposisi, teknik PECVD melibatkan beberapa parameter yang mempengaruhi distribusi hidrogen dalam lapisan yang dipandang sebagai faktor yang menyebabkan terjadinya degradasi sifat listrik lapisan tipis *a-Si:H* (Santos dkk., 1991). Selain itu, beberapa reaksi fasa gas memungkinkan terbentuknya ikatan silang-silang yang tinggi dalam plasma rf dan tumbukan dari ion-ion berenergi tinggi sehingga menambah jumlah cacat dalam lapisan. Oleh karena itu diperlukan teknik baru untuk menumbuhkan material a-Si:H dengan kandungan hidrogen yang rendah.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

- Metode *Low pressure Chemical Vapor* (LPCVD)
  Metode LPCVD adalah salah satu dari metode metode penumbuhan (deposisi) dengan memanfaatkan proses pengendapan uap kimia tekanan rendah. Pada temperatur rendah ketebalan *bounday layer* menjadi bagian yang terpenting dalam pembentukan lapisan. Agar ketebalan *boundary layer* menjadi lebih tipis dapat dilakukan dengan menurunkan tekanan pada reaktor. Reaktor dengan tekanan yang rendah disingkat dengan *Low pressure Chemical Vapor* (LPCVD). Metode LPCVD memiliki beberapa keuntungan, diantaranya aliran gas dapat lebih *uniform* dan jumlah substrat yang dapat diproses bersamaan dapat lebih banyak sehingga produktivitas tinggi.

5.2 Metode Deposisi *Metal Organic Chemical Vapor Deposition* (MOCVD)

Teknik deposisi MOCVD atau juga dikenal dengan OMVPE (*Organo-Metallic Vapor Phase Epitaxy* berkembang lebih pesat karena dapat memproduksi lapisan tipis yang mudah dikontrol ketebalan film tipis, komposisi dan konsentrasi dopingnya. Disamping itu, MOCVD dapat beroperasi pada tekanan atmosfer (suhu ruang). MOCVD merupakan metode yang potensial untuk menumbuhkan struktur *multilayer* yang komplek.

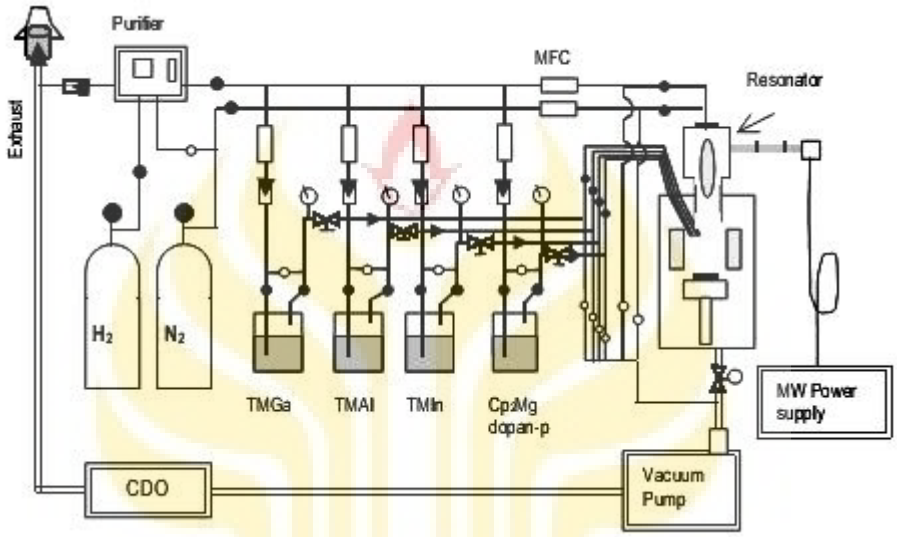
MOCVD merupakan teknik deposisi film tipis melalui reaksi kimia dalam fase uap menggunakan bahan-bahan metal organik (trimethylgallium, trimethylaluminum, trimethylindium ,dsb). MOCVD juga biasa dikenal sebagai MOVPE (*Metal Organic Vapour Phase Epitaxy*). Dalam *reactor* MOCVD bahan-bahan *metal organic* tersebut diurai melalui proses pirolisis menjadi gugus organik dan bahan *metal*.melalui proses pirolisis menjadi gugus organik dan bahan *metal*. Gugus organik tersebut dibuang melalui saluran pembuangan sedangkan bahan *metal*-nya dideposisikan atau dipadukan dengan bahan lain. Film tipis yang biasa dideposisikan dengan teknik MOCVD yaitu semikonduktor dan superkonduktor. Untuk semikonduktor bahan yang digunakan dapat berupa bahan paduan seperti paduan III-V , sebagai contoh: GaN, GaAs, GaSb dan sebagainya.

Deposisi film dengan *co-pirolisis* berbagai kombinasi senyawa metal organik dan hidrida dikenal MOCVD yang merupakan teknologi penting fabrikasi perangkat opto-elektronik dan *high speed elektronic*. Demonstrasi awal deposi dilaporkan pada tahun 1968 dan pada awalnya diarahkan menjadi senyawa semikonduktor setara deposisi teknologi *"Silicon on Sapphire"*. Sejak itu, baik kepentingan komersial dan ilmiah sebagian besar telah diarahkan terhadap pertumbuhan epitaxial pada semikonduktor dari pada substrat isolator. Teknologi baru diciptakannya piranti, seperti: *laser*, *PIN photodetectors*, *solar sel*, *fototransistor*, *photocathodes*, FET dan JFET. Operasi efisien piranti film memiliki sifat bahan yang baik, termasuk kemurnian, efisiensi *luminescence* tinggi, dan *abrupt interface*. Selain itu, teknik ini telah digunakan pada hampir semua semikonduktor III-V dan II-VI dan paduan (*alloy*) dalam mendukung penelitian material.

5.2.1 Metode PA-MOCVD

MOCVD (*Plasma-Assisted Metalorganic chemical Vapor Deposition*) merupakan metode secara epitaksi yang menjadi standar industri untuk produksi divais elektronika. Deposisi film GaN dengan MOCVD konvensional dilakukan pada temperatur ∼1050 ^{o}C sebab dekomposisi NH_3 terjadi pada temperatur tinggi. Pada studi film GaN dideposisi dengan PA-MOCVD, dimana N_2 reaktif dihasilkan oleh gas N_2 yang dilewatkan *cracking cellse* hingga temperatur dapat direduksi menjadi (600-700) ^{o}C. Kondisi ini sangat menguntungkan saat deposisi *multilayer* untuk fabrikasi divais (Sugianto dkk, 2004).

Deposisi film tipis GaN diatas substrat *sapphire* (0001) dengan metode PA-MOCVD telah dilakukan (Sugianto dkk, 2004). Skema sistem reaktor PA-MOCVD diperlihatkan pada Gambar 5.1. *Cracking cell* berupa tabung *resonator tipe down-stream* (ASTeX) yang dihubungkan dengan pembangkit gelombang mikro 2,45 GHz dengan daya maksimum 250 watt digunakan untuk menghasilkan nitrogen reaktif dari gas N_2. Daya yang digunakan dalam studi ini 200 watt pada tekanan reaktor 0,5 Torr. Laju gas N_2 ditentukan 90 sccm. Sebagai prekursor golongan III digunakan *trimethyl-gallium* (TMGa) dan H_2 digunakan sebagai gas pembawa yang sebelumnya dilewatkan pada purifier sel *palladium*.



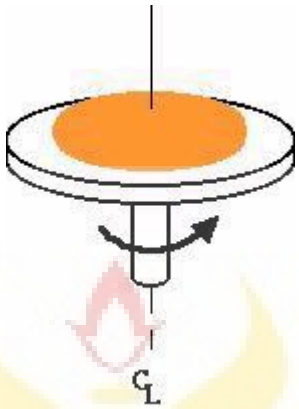
Gambar 5.1: Skema sistem reaktor PA-MOCVD (Sugianto dkk, 2004)

Subtrat dicuci secara ultrasonik dengan *aceton*, metanol dan *di-etsa* dengan larutan H_3PO_4:H_2SO_4 =1:3 pada temperatur 70 ^oC selama10 menit. Kemudian dibilas dengan air-DI dan dikeringkan dengan gas N_2. Substrat segera dimasukkan dalam reaktor dan dilakukan *thermal cleaning* dengan plasma H_2 pada temperatur 650 ^oC selama 10 menit. Proses penumbuhan diawali dengan penumbuhan lapisan penyangga GaN pada temperatur 470 ^oC dengan mengalirkan *trimethyl-gallium* (TMGa) 0,08 sccm dan gas N_2 = 90 sccm selama waktu tertentu. Hal ini dilakukan agar diperoleh ketebalan lapisan penyangga antara 0-40 nm (sebelumnya telah dilakukan studi penumbuhan lapisan penyangga dengan kondisi penumbuhan yang sama, laju penumbuhannya ∼3 nm/menit).

Ketebalan lapisan penyangga diukur dengan *stylus-profilometer* DEKTAK IIA. Setelah penumbuhan lapisan penyangga, temperatur substrat dinaikkan sampai temperatur penumbuhan yang ditentukan (640 ^oC). Penumbuhan film tipis GaN secara rinci telah dijelaskan pada publikasi sebelumnya (Sugianto dkk,2000). Film GaN yang dihasilkan dikarakterisasi dengan difraksi sinar-X untuk analisis struktur kristal dan besarnya konstantakisi film GaN untuk menentukan besarnya strain film GaN dengan *sapphire*.

5.2.2 Metode *spin-coating*

Pembuatan lapisan membran ini menggunakan polimer Polyvynyl Alcohol (PVA) yang dapat ditempelkan pada substrat dengan teknik *spin coating*. Bahan polimer Polyvynyl Alcohol (PVA) ini ditempelkan sebagai suatu lapisan membran pada substrat dengan pemutaran menggunakan spinner.



Gambar 5.2: Gambaran proses spin coating

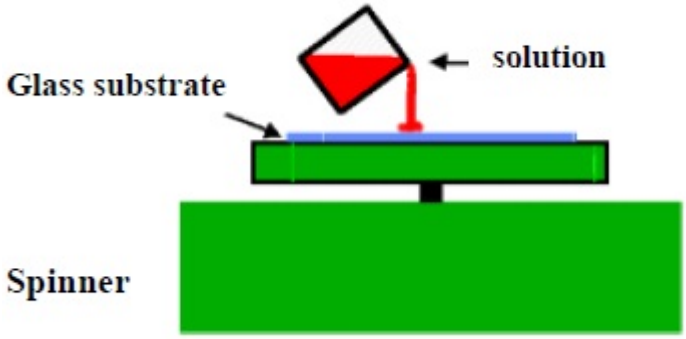
Spin Coating merupakan suatu metode untuk mendeposisikan lapisan tipis dengan cara menyebarkan larutan lapisan tipis ke atas substrat terlebih dahulu, kemudian substrat diputar dengan kecepatan konstan tertentu agar dapat diperoleh endapan lapisan tipis di atas substrat. Bahan lapisan tipis yang memungkinkan diendapkan menggunakan cara ini adalah bahan organik ataupun organometallik. Dengan spin coating dimungkinkan dapat diperoleh kualitas lapisan tipis yang semakin sempurna.

Pada metode spin coating, material coating dideposisi atau diletakkan pada bagian tengah substrat dengan cara dituangkan atau diteteskan diatas substrat kemudian diputar dengan kecepatan putar tertentu. Prinsip Fisika dibalik spin coating adalah keseimbangan antara gaya viskositas yang dijelaskan oleh viskositas pelarut dengan gaya sentrifugal yang dikontrol oleh kecepatan spin. Dengan menganggap lapisan pada awalnya seragam, ketebalan lapisan sebagai fungsi waktu.

Beberapa variable parameter proses yang termasuk dalam spin coating adalah :

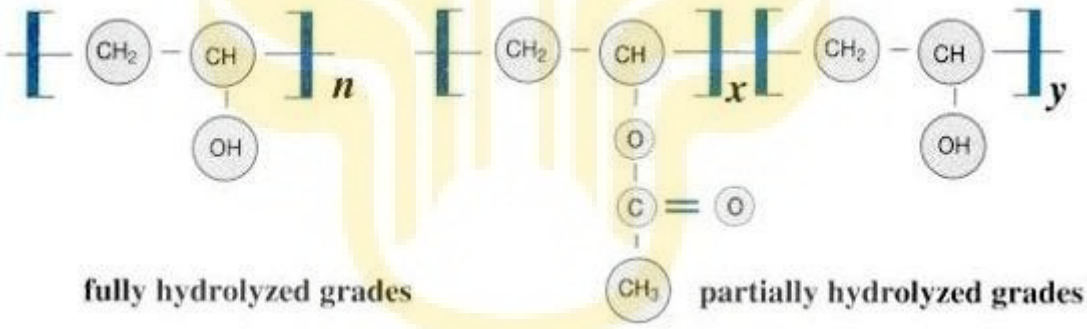
1. Viskositas atau kekentalan larutan
2. Kandungan material
3. Kecepatan anguler
4. Waktu putar atau spin time

Polyvinil Alcohol (PVA) mengandung sekelompok styryl pyridium yang digunakan sebagai polimer fotosensitif. Polimer ini juga dapat digunakan sebagai material bioteknologi, yaitu material yang dapat digunakan sebagai interface untuk penumbuhan sel,



Gambar 5.3: Proses *Spin Coating*

protein dan enzim. Hal ini karena polimer ini tidak membuat kekebalan (seperti tidak membentuk antibody dalam tubuh), tidak mengalami mutasi dan tidak bersifat carcinogenic. Atas dasar inilah digunakan PVA yang berfungsi sebagai membrane tembus oksigen untuk penumbuhan enzim *Glucose Oxidase* (GOD). Sifat dari PVA sendiri adalah tak berwarna, mudah larut dalam air dan bersifat mudah terbakar. Ikatan kimia dari PVA adalah sebagai berikut :



Gambar 5.4: Struktur ikatan kimia PVA

PVA adalah bahan yang larut dalam air yang dihasilkan melalui proses hidrolisis Polyvynylacetate yang mana *Polyvynylacetate* tersebut terbentuk dari penggabungan molekul-molekul (polimerisasi) dari *monomer vinylacetate*. Proses hidrilisis tersebut di klasifikasikan dalam dua kelompok yaitu hidrolisis penuh dan hidrolisis sebagian.

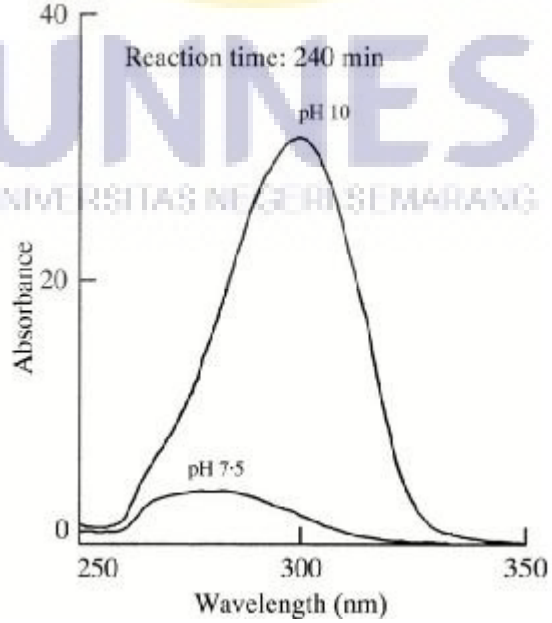
Sifat-sifat umum dari *Polyvinyl alcohol* (PVA) adalah sebagai berikut :

- Bentuk : Butiran atau serbuk berwarna putih
- Kerapatan volume : 642 kg/m^3 C
- pH : 5 sampai dengan 7
- Titik leleh :(210 - 230)^o C untuk hidrolisis penuh dan (150 -190)^o C untuk hidrolisis sebagian
- Resistivitas elektric : (3.1 - 3.8) x10^7 Ωcm

PVA (*Polyvinyl alcohol*) mempunyai sifat berubah warna secara perlahan-lahan ketika berada pada suhu 100° C dan akan berubah menjadi hitam ketika berada pada suhu diatas 160° C. Selain berubah warna, PVA dapat memisah secara perlahan-lahan pada suhu diatas 180° C atau sama dengan titik lelehnya. PVA tidak dapat larut dalam tubuh binatang, tumbuhan dan bahan berminyak, dan kepadatan PVA tidak terbatas ketika dilindungi dari uap.

Polyvinyl alcohol (PVA) cukup mudah untuk dilarutkan dalam air, tetapi kelarutannya tergantung dari derajat polimerisasi dan derajat hidrolisis. PVA dengan derajat polimerisasi yang rendah lebih mudah dilarutkan dalam air. Secara umum, PVA dengan tingkat hidrolisis sebagian lebih mudah dilarutkan daripada tingkat hidrolisis yang penuh. Selain itu kecepatan larut dari PVA tergantung pada suhu pelarut. Hidrolisis sebagian dilarutkan dalam suhu ruang lebih mudah daripada hidrolisis penuh yang tidak mudah larut dalam suhu ruang.

Bahan dari PVA (*Polyvinyl alcohol*) dapat digunakan sebagai lapisan tipis (film tipis) yang sensitif khususnya dalam matrik immobilisasi untuk berbagai aplikasi. Jaringan polimerik PVA dihasilkan dari penggunaan glutaraldehyde atau dengan teknik pembuatan gel agar menjadi polimer yang sensitif terhadap cahaya. Dari jurnal Microbiology 2000, 146, 649-657 diperoleh informasi bahwa absorbansi dari bahan Polyvynyl Alcohol (PVA) berada pada daerah sinar UV, yang ditunjukkan dalam Gambar 5.5. berikut ini (Masayuki Shimao dkk, 2000) :



Gambar 5.5: Absorbansi Polyvynyl Alcohol (PVA) terjadi pada sekitar panjang gelombang 300 nm (Masayuki Shimao dkk, 2000)

5.2.3 Metode *sol-gel spin-coating*

Eksperimen penumbuhan film tipis *galium nitrida* (GaN) di atas substrat kristal tunggal Si (004) dengan metode *sol-gel spin-coating* telah dilakukan oleh (Heri Sutanto dkk, 2010). Lapisan tipis GaN ditumbuhkan (dideposisikan) dengan teknik *sol-gel spin-coating* menggunakan kristal *gallium-citrate-amine* sebagai prekursor Ga. Sedangkan sebagai sumber N digunakan gas N_2 yang direaktifkan melalui pemanasan pada suhu tinggi. Kristal *gallium-citrate-amine* yang berwarna putih, dihasilkan melalui proses preparasi *gel* dari larutan yang mengandung ion-ion Ga^{+3} dan asam sitrat (*citric acid*). Kristal *gallium-citrate-amine* ini memiliki formula kimia $(NH_4)3[Ga(C_6H_5O_7)2]4H_2O$. Riset ini menggunakan bahan untuk deposisi film adalah serbuk Ga_2O_4 yang berbentuk serbuk. Selanjutnya dilakukan deposisi film tipis dengan prosedur sebagai beikut:

A. Preparasi kristal (*Ga-citrate-amine*)

   Mekanisme/proses preparasi kristal (*Ga-citrate-amine* yang dilakukan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

   - Material 2,16 g serbuk Ga_2O_4 dilarutkan dalam campuran HCl dan HNO_3 (1:1),
   - Larutan campuran unsur dari HCl dan HNO_3 (1:1) kemudian dilakukan dinetralisir hingga memiliki nilai pH 7,5- 8 dengan cara menambahkan ammonium *hydroxide* secukupnya.
   - Tahapan deposisi selanjutnya adalah larutan campuran HCl dan HNO_3 (1:1) yang sudah dinetralisir, kemudian ditambahkan 1,1 gr *citric acid* (CA) sehingga *rasio molar* dari Ga/CA adalah 1:1.
   - Selanjutnya larutan ini diaduk (*stirred*) pada suhu 80 ^oC selama 2 jam, untuk mendapatkan kristal putih.
   - Kristal ini kemudian dibilas dengan *aseton* dan disimpan dalam *vacuum descccator* untuk pengeringan.
   - Kristal kering tersebut kemudian dilarutkan dalam *ethylenediamine* untuk mendapatkan larutan jernih (*clear*).
   - Larutan ini (*gel*) kemudian digunakan untuk deposisi lapisan GaN dengan teknik *spin-coating* di atas substrat kristal tunggal Si (004).

B. Tahapan deposisi film tipis GaN dengan metode *sol-gel spin-coating*

   Penumbuhan (deposisi) film tipis GaN di atas substrat kristal tunggal Si (004) SiO2 dengan menerapkan metode *sol-gel spin-coating* telah dilaksanakan oleh Sugianto dkk tahun 2004). Aktivitas ini merupakan usaha untuk mengembangkan film tipis berbasis material GaN, adapun langkah-langkah dalam proses penumbuhan film tipis sebagai berikut:

- Substrat kristal tunggal Si (004) diletakkan di atas *spin coater*
- Satu hingga dua tetes *gel* ditempatkan di atas substrat, dan substrat kemudian diputar dengan laju putaran sebesar 1100 rpm selama 1 menit.
- Lapisan yang diperoleh kemudian dikeringkan pada temperatur 150 ^{o}C di atas *hot plate* dan diikuti dengan proses dekomposisi pada temperatur 350 ^{o}C dalam *furnace* untuk mengeliminir komponen-komponen organik pada lapisan.
- Selanjutnya lapisan ditempatkan dalam sebuah *programable furnace*.
- Temperatur *furnace* dinaikkan mencapai 1000 ^{o}C dari temperatur ruang dengan laju pemanasan sekitar 10 ^{o}C/menit dalam lingkungan gas nitrogen UHP 99,99% yang dialirkan secara konstan sebesar 100 sccm.
- Lapisan tersebut dipanaskan pada temperatur deposisi bervariasi: 800 ^{o}C, 900 ^{o}C, dan 1000 ^{o}C selama 2 jam dan kemudian didinginkan dengan laju pendinginan 10 ^{o}C/menit hingga temperatur ruang untuk mendapatkan lapisan kristal GaN.

5.2.4 Metode *dc magnetron sputtering*

Teknik penumbuhan film tipis paling sederhana adalah dengan metode *dc magnetron sputtering*. Metode ini menggunakan catu daya searah (dc) tegangan tinggi yang menghasilkan medan listrik antara katoda dan anoda. Gas yang digunakan sebagai pembentuk plasma adalah gas argon. Gas argon mempunyai massa yang lebih berat dan mudah terionisasi dari pada gas lain, seperti Ne (*neon*) dan He (*helium*) (Purwaningsih, 2003).

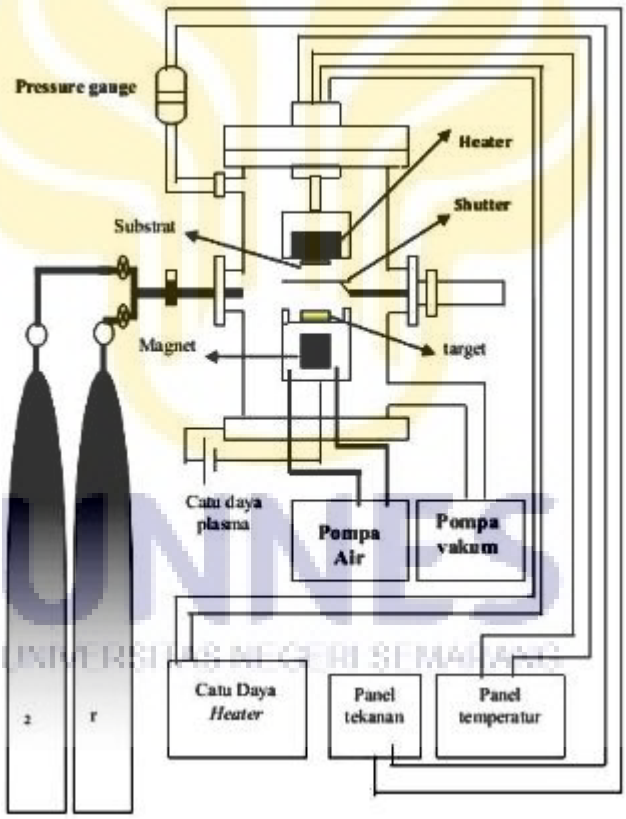
Gas *argon* dan *nitrogen* yang mengalir melalui ruang diantara elektroda dipecah menjadi plasma yang mengandung suatu elektron (e^-), ion Ar, ion dan atom. Ion positif Ar dan N dipercepat oleh medan listrik menuju elektroda negatif (katoda), sehingga ion-ion positif menumbuk atom-atom pada permukaan target yang dipasang di atas anoda. Ion-ion penumbuk memiliki energi yang sangat besar sehingga atom-atom yang terdapat permukaan target akan terlepas dari permukaan target terhambur ke segala arah. Atom-atom target yang terpental menempel pada permukaan substrat sehingga membentuk lapisan (film) tipis.

Untuk meningkatkan derajat ionisasi dan mencegah terjadi resputtering oleh elektron pada permukaan film tipis yang terbentuk, maka di bawah target dipasang magnet permanen untuk membuat perangkap elektron dengan medan magnet yang dihasilkan (Joshi, 2003). Proses *sputtering* menghasilkan panas pada daerah target akibat dari tumbukan antara ion-ion penumbuk dengan atom-atom permukaan target dan pengaruh pemanasan substrat dengan pemanas (*heater*).

Peralatan (divais) yang menggunakan dengan sistem magnet dialiri air pendingin dengan tujuan menjaga kekuatan magnet agar tidak hilang karena pengaruh panas selama proses penumbuhan (deposisi) film tipis. Kekuatan medan magnet ditentukan sesuai

dengan jarak antara katoda dan anoda. Jika medan magnet terlalu besar maka akan menyebabkan radius garis gaya magnet mencapai permukaan substrat yang dapat merusak permukaan film tipis yang terbentuk. Jika medan magnet terlalu kecil radius garis gaya hanya melingkupi permukaan target.

Telah ditumbuhkan film Ga_2O_3 :ZnO di atas substrat Si menggunakan *dc magnetron sputtering* (*home made*). Parameter deposisi film tipis yang divariasikan dalam pembuatan film tipis Ga_2O_3 :ZnO adalah daya plasma. Proses penumbuhan film tipis dilakukan selama 3 jam. Struktur kristal film tipis dipelajari dengan menggunakan analisis difraksi sinar X (XRD) dan SEM. Hasil difraktogram XRD dibandingkan dengan data JCPDS untuk mengidentifikasi struktur kristal yang tumbuh. Film tipis yang ditumbuhkan dengan daya plasma 20,15 W dan 24,10 W teramati puncak difraksi bersesuaian dengan orientasi bidang (201) yang menunjukkan lapisan tipis Ga_2O_3 :ZnO memiliki struktur monoklinik dan intensitas tertinggi bersesuaian dengan orientasi bidang (400) pada fase kubik.



Gambar 5.6: Sistem reaktor *dc magnetron spputering* (Sulhadi, 2010)

Pada citra SEM dengan perbesaran 10.000 kali teramati bahwa film tipis yang ditumbuhkan dengan daya plasma 20,15 W mempunyai morfologi yang lebih rata. Kondisi tersebut dikarenakan atom-atom yang menempel pada substrat ada yang terlepas terlebih dahulu sebelum datang atom-atom yang tersputter dari target. Hal ini sebagai konsekuensi laju atom yang menuju substrat relatif rendah karena ditumbuhkan pada daya plasma yang juga relatif rendah (sulhadi, 2010).

Penumbuhan film tipis Ga_2O_3 :ZnO dilakukan dengan rekator *dc magnetron sputtering* dengan skema seperti ditunjukkan pada Gambar 5.2. Proses penumbuhan film tipis Ga_2O_3 dengan teknik *dc magnetron sputtering* dilakukan dengan mekanisme, diawali dengan pembuatan target berupa pellet Ga_2O_3 dari serbuk Ga_2O_3 (99,999%) produksi STREM Ltd., Adapun rutan proses penumbuhan film tipis adalah sebagai berikut:

1). Penggerusan, pemadatan, *sintering* pada 900 ^{o}C selama 3 jam.

2). Preparasi substrat yang meliputi pemotongan dan pencucian substrat dengan *aseton* dan *metanol* dalam *ultrasonic bath* masing-masing selama 10 menit. Kemudian dicelup dalam larutan HF 10% selanjutnya dikeringkan dengan somprotan gas nitrogen yang dilanjutkan penumbuhan film tipis Ga_2O_3 dengan menggunakan reaktor *dc magnetron sputtering* di Laboratorium Fisika UNNES.

3). Sebelum deposisi dimulai, reaktor divakumkan dengan aliran nitrogen. Memvakumkan tabung reaktor plasma dengan pompa rotari hingga mencapai tekanan 10^{-3} mTorr.

4). Proses penumbuhan dilakukan selama 3 jam.
Langkah yang dilakukan untuk deposisi film tipis Ga_2O_3 adalah sebagai berikut:

- Memasang target Ga_2O_3 pada katoda dan substrat Si (111) yang telah dibersihkan pada anoda. Memvakumkan tabung reaktor plasma dengan pompa rotari hingga mencapai tekanan 10^{-3} mTorr.
- Mendinginkan bahan target dengan sistem aliran pendingin air difusi dan memanaskan substrat pada suhu 650 0°C dengan sistem pemanas pada anoda.
- Mengalirkan gas argon ke dalam tabung reaktor plasma hingga mencapai tekanan kerja (operasi) yang diinginkan, yaitu 550 mTorr.
- Menghidupkan sistem tegangan tinggi DC, selanjutnya mengatur tegangan pada nilai yang diinginkan.
- Melakukan pendeposisian dengan memvariasikan daya plasma.

5). Deposisi film tipis Ga_2O_3 dengan doping ZnO dengan memvariasikan daya plasma (20,15 watt sampai dengan 51,39 watt). Struktur film tipis hasil deposisi dengan teknik *dc magnetron sputtering* selanjutnya dianalisis menggunakan XRD dan SEM.

5.2.5 Metode *Glow Discharge-Induced Sublimation* (GDS)

Dalam buku ini dijelaskan tentang deposisi film tipis berbasis semikonduktor CuPc (*copper phthalocyanine*) dengan metode *Glow Discharge-Induced Sublimation* (GDS) agar mudah diaplikasikan untuk riset. Sifat fisik film tipis yang didepositkan dikaji dengan spektroskopi FT-IR (*Fourier Transform Infrared*) dan pengukuran *pysisorption nitrogen*. Interaksi

antara gas dan film tipis yang didepositkan diuji dengan mengukur respon IR dan konduktivitas listrik pada NO_2 dan NO yang berisi atmosfer (Maggioni, G. et al, 2005).

A. Tujuan aplikasi metode *Glow Discharge-Induced Sublimation* (GDS)

Tujuan metode ini adalah untuk melakukan deposisi film tipis CuPc (*copper phthalocyanine*) dengan sarana alternatif yang lain. Metode deposisi film tipis yang berbasis plasma baru-baru ini banyak dikembangkan, bernama *Glow Discharge-Induced Sublimation* untuk menginvestigasi penerapan deposisi film tipis pada aplikasi sensor gas. Seperti ditunjukkan dalam deposisi *monomer precursor polyimide* (Maggioni, G. et al, 2005) dan *3-hydroxyflavone* (Maggioni, G. et al, 2001), mengungkapkan perbedaan sifat fisik film tipis antara metode GDS dengan deposisi film tipis dengan sistem penguapan hampa udara.

Perbedaan utama metode GDS CuPc dengan evaporasi disebabkan akibat pengaruh plasma yang bisa mengionisasi molekul organik yang disublimasikan, hal ini terjadi karena adanya tabrakan antara elektron dan ion plasma. Oleh karena itu sifat-sifat film tipis GDS CuPc dibandingkan dengan standar sampel yang dideposisikan dengan metode penguapan vakum (*vacuum evaporator*). Struktur kimia dari film tipis didepositkan dipelajari melalui analisis FT-IR dan digunakan teknik pengukuran *nitrogen physisorption* untuk mempelajari porositas film tipis hasil deposisi.

Untuk menguji respon gas hasil deposisi metode VE dengan GDS adalah: *on /off* pengukuran sampel tidak dioptimalkan ditunjukkan oleh paparan NO_2 dan campuran berisi gas NO. Pengujian tanggapan IR film tipis yang dideposisikan dengan campuran NO_2 + NO pada konsentrasi 2500 ppm untuk menentukan apakah interaksi gas dengan film tipis menimbulkan ikatan stabil dan penurunan respon sensor. Selain itu perubahan konduktivitas listrik diukur pada campuran N_2 + NO_2 10 ppm dan N_2 + NO 100 ppm.

B. Proses deposisi film tipis CuPc dengan metode GDS

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Adapun proses deposisi film tipis berbasis semikonduktor CuPc (*copper phthalocyanine*) dengan metode GDS adalah sebagai berikut:

1. Substrat (*wafer silikon*) yang dipasang pada sample (*holder)* dan dilatetakkan 7 cm di atas sumber.

2. Deposisi film tipis terdiri dari ruang vakum yang dievakuasi dengan tekanan 10^{-4} Pa.

3. Adapun perangkat yang digunakan untuk mempertahankan debit cahaya adalah *1-in cylindrical magnetron sputtering* yang sumbernya terhubung dengan generator listrik berfrekuensi radio (600 W, 13,56 MHz).

4. Serbuk CuPc (750 mg, kemurnian 99,5%; *Acros Organics*) dimasukkan pada permukaan target aluminium dan ditempatkan pada sumber *sputtering*.

5. Gas yang diumpankan adalah gas argon (99.9999%), yang tekanannya diukur melalui alat pengukur kapasitansi.

6. Nilai umum daya RF, target bias DC yang mandiri dan tekanan kerja berada di dalam rentang, masing-masing: 10 W hingga 20 W, -20 V hingga -300 V, dan 5,0 Pa.

C. Eksperimen

Ketebalan film tipis hasil VE dan GDS, masing-masing: 0,8 μm dan 4,5 μm. Analisis spektroskopi inframerah dilakukan dengan spektromete FT-IR Jasco 660 (pada rentang (4000- 400) cm^{-1}, resolusi 4 cm^{-1}). Eksperimen *nitrogen physisorption* dilakukan pada suhu 77 ^{o}K dengan peralatan dari *micromeritics sorptometer* ASAP 2010. Dari serbuk CuPc diperoleh endapan lapisan dari metode deposisi VE dan GDS dengan menerapkan tekanan gas di bawah 1,3 Pa dan suhu 25 ^{o}C. Luas permukaan spesifik (*Specific Surface Area*/ SSA) dihitung dengan persamaan BET (*Brunauer-Emmett-Teller*) dalam interval $0{,}05 \leq p/po \leq 0{,}33$, dengan kuadrat terkecil sesuai dengan 0,998. Dimana p dan po adalah tekanan keseimbangan dan tekanan saturasi *adsorbates* pada suhu adsorpsi. Metode BJH (*Barrett-Joyner-Halenda*) diterapkan untuk memperkirakan distribusi ukuran pori.

Berbagai metode, teori dan persamaan telah dikembangkan, antara lain metode *Langmuir* dan *Brunauer-Emmett-Teller* (BET). Keduanya digunakan untuk menentukan *Specific Surface Area* (SSA) padatan data adsorpsi isoterm gas. SSA merupakan salah satu parameter penting yang menentukan kualitas padatan berpori. SSA merupakan parameter yang menggambarkan kapasitas adsorpsi suatu adsorben. Pada bidang katalisis, SSA merupakan gambaran banyaknya situs aktif yang ada pada permukaan katalis yang menentukan sifat katalitiknya. Pada elektroda sel elektrokimia, *Specific Surface Area* berhubungan dengan banyaknya transfer elektron yang terjadi pada daerah antarmuka.

Pada awal perkembangan metode dan teori adsorpsi isoterm, data luas permukaan spesifik sudah cukup sebagai ukuran kualitas padatan berpori. Akan tetapi data luas permukaan spesifik tidak cukup rinci untuk menerangkan sifat adsorpsi padatan. Ukuran dan distribusi pori sekarang menjadi target yang utama sintesis material berpori. Telah dikenal metode baru untuk pengolahan data adsorpsi isoterm yang dapat digunakan, tidak hanya terbatas penentuan luas permukaan padatan, akan tetapi juga mampu menghitung volume dan luas permukaan pori, luas permukaan eksternal dan distribusi pori.

Metode perbandingan *(t-plot* dan αs*-plot*) berhasil mendapatkan luas permukaan spesifik pori, luas permukaan ekternal, diameter dan volume pori pada material mikropori dan mesopori. Penentuan distribusi mesopori biasa digunakan metode BJH yang disusun berdasarkan atas konsep kondensasi kapiler dengan persamaan Kelvin dan faktor koreksi dari ketebalan statistik *multilayer*. BET merupakan singkatan dari nama-nama ilmuwan yang menemukan teori luas permukaan pada suatu material. Ilmuwan tersebut adalah Brunaeur, Emmet dan Teller. Teori *Brunauer-Emmett-Teller* (BET) bertujuan untuk

menjelaskan adsorpsi fisik molekul gas pada permukaan padat dan berfungsi sebagai dasar teknik analisis penting untuk mengukur luas permukaan spesifik dari suatu material. Pada tahun 1938, Stephen Brunauer, Paul Hugh Emmett dan Edward Teller menerbitkan artikel pertama tentang teori BET dalam *Journal of American Chemical Society.*

Tanggapan film FT-IR yang diendapkan dengan paparan gas dan diukur menggunakan campuran gas N_2 + NO_2 dengan konsentrasi 500 ppm. Setelah dilakukan evakuasi sel sampel, selanjutnya spektrum dikumpulkan sebelum paparan gas masuk, selama 10 menit dengan tekanan total 10^5 Pa dan kemudian dilakukan evakuasi sel selama 15 jam. Film juga terekspos oleh campuran gas N_2 + NO dengan konsentrasi 100 ppm, akan tetapi fitur IR kedua sampel tersebut tidak mengalami perubahan sama sekali. Pengukuran elektrik dilakukan dengan peralatan elektrometer *(Keithley Instruments, Model 237).* Elektroda emas persegi panjang sebanyak 20 dipasang paralel dan berjarak 0.57 mm satu sama diuapkan pada kaca kuarsa dan kemudian film CuPc diendapkan diatas sampel.

Sampel CuPc diletakkan dalam ruang pengukuran yang bertekanan 10^5 Pa dan dialiri dengan tetap gas N_2 selama 1 jam. Selama proses, pemanas keramik digunakan untuk meningkatkan suhu sampel hingga 150 ^{o}C. Kemudian dialiri campuran gas N_2 secara bergantian oleh salah satu dari N_2 + NO_2 10 ppm atau N_2 NO 100 ppm selama sekitar 20 menit. Sesudah itu, *chamber* (ruangan) menjadi terlihat memerah dengan aliran nitrogen murni selama sekitar 3 jam. Selama seluruh proses, konduktivitas film tipis yang tercatat sebagai fungsi dari waktu pada tegangan tetap (10 V). Semua pengukuran dilakukan tanpa iradiasi cahaya (*dark measurements*).

D. Perbedaan hasil deposisi film tipis antara metode GDS dan VE

Metode dari *Glow Discharge-Induced Sublimation* (GDS) telah digunakan untuk deposisi film tipis dari bahan *copper phthalocyanine* (CuPc). Struktur film tipis GDS berbeda dengan sampel dari evaporasi dan terdiri dari campuran fase α dan β. Pengukuran *nitrogen physisorption* menekankan pada morfologi film GDS yang lebih banyak berpori dibandingkan dengan yang ada pada film tipis VE, yang menjadikan lapisan ini sangat menarik untuk aplikasi sensor gas.

Analisis sampel FT-IR dari NO2 terekspos menunjukkan bahwa film GDS akan diserap oleh NO_2 dan gas ini berinteraksi dengan elektron π cincin benzena dari molekul CuPc. Selain itu, reversibilitas yang hampir lengkap berkaitab dengan interaksi NO_2/ CuPc ditunjukkan oleh lapisan film GDS adalah pemikiran yang baik untuk menggunakan sampeluntuk aplikasi sensor gas.

5.2.6 Metode *vacuum evaporator*(VE)

Metode Evaporasi merupakan salah satu metode yang tertua dalam pendeposisian lapisan tipis khususnya untuk lapisan logam. Bahan dipanaskan hingga mencapai fase uap

(point of vaporation), kemudian berkondensasi di atas permukaan lempeng (substrat) membentuk lapisan tipis. Agar dapat mengontrol komposisi material yang terevaporasi, maka evaporasi dilaksanakan pada kondisi hampa. Mesin Evaporator tipe*Ladd Research* adalah salah satu alat metalisasi yang bekerja dengan menggunakan penguapan ruang hampa.

Pembuatan lapisan tipis dengan cara penguapan sebenarnya dapat dilakukan di ruang terbuka, tetapi dengan pertumbuhan lapisan tipis yang tidak bagus karena pada saat pembuatan banyak gas-gas sisa didalamnya. Sehingga untuk mengurangi molekul-molekul yang mempengaruhinya maka pembuatan lapisan tipis dilakukan pada suatu ruang vakum.

Keadaan vakum tidak dapat langsung dilihat oleh mata, karena pengisi ruangan berupa gas. Untuk itu diperlukan besaran fisis lain yang mempunyai kaitan erat dengan tingkat kevakuman agar tingkat kevakuman dapat diukur atau dapat dengan mudah diketahui. Keberhasilan dari proses evaporasi sangat ditentukan oleh jumlah molekul gas yang masih tersisa dalam ruang vakum. Hal ini disebabkan jumlah molekul gas yang tersisa akan mempengaruhi gerak atom-atom material sumber menuju ke substrat.

Sistem evaporasi secara skematik diperlihatkan oleh Gambar 5.7. Sistem evaporasi terdiri dari ruang hampa. pompa mekanik, pompa difusi, katup-katup dan komponen pendukung lainnya. Bila dibutuhkan kehampaan hanya orde 10^{-3} Torr, maka cukup menggunakan pompa mekanik. Pengoperasian pompa difusi dibantu dengan gas nitrogen cair, yang berfungsi untuk mencegah kontaminasi oli dari pompa difusi dan pompa mekanik.

Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam teknik evaporsi ini adalah sumber evaporasi (evaporan). Evaporasi yang biasa digunakan diantaranya evaporasi filament (*filament evaporation*) dan evaporasi pancaran electron (*electron-beam evaporation*). Pada penelitian ini hanya digunakan evaporasi filamen.

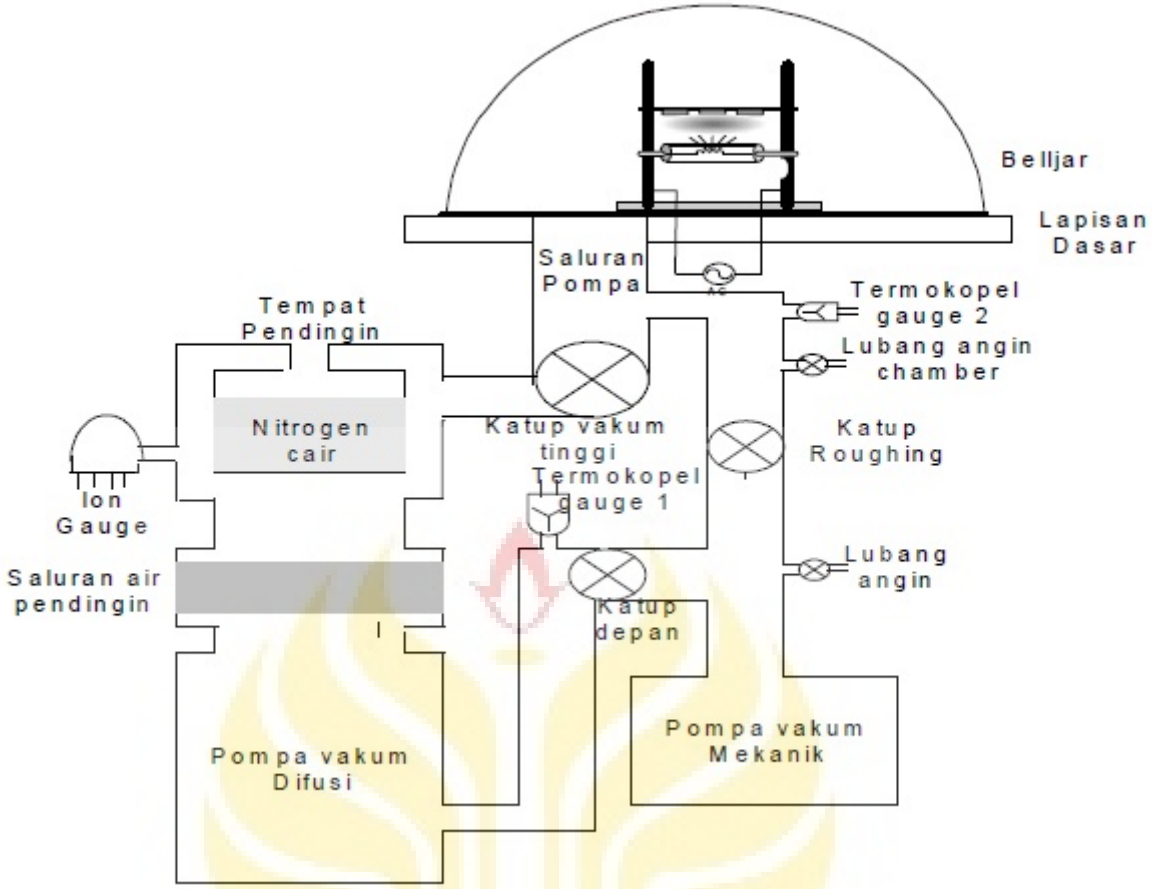
Pada evaporasi filamen, material sumber evaporasi dekat atau pada filamen yang telah dibentuk. Kelemahan evaporasi filamen adalah sulit mengontrol ketebalan film. Banyak jenis dan bentuk filamen sehingga harus disesuaikan dengan evaporan untuk menghindari terjadinya reaksi.

Bentuk praktis dari sumber tergantung dari bentuk-bentuk filamennya. Disini dipakai Resistance Heater Source, bahan-bahannya terbuat dari bahanbahan biasa dan kompleks. Bahan-bahan tahanan yang dipanasi harus memenuhi persyaratan sebagai berikut :

1). Harus menghasilkan panas pada suhu evaporasi dengan bentuk stabilitas strukturnya tetap tidak terpengaruh.

2). Tekanan penguapan bahan harus rendah sehingga hanya jumlah kecil saja dari bahan tersebut ikut terevaporasi.

3). Harus bisa menampung bahan-bahan yang akan dievaporasi.



Gambar 5.7: Skema sistem vakum evaporator (Stuart, 1983)

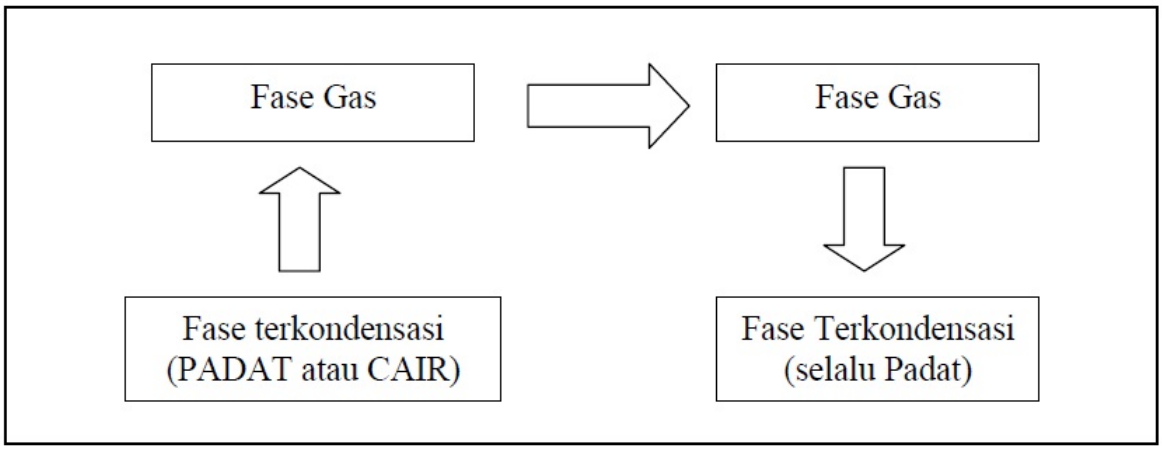
4). Bahan-bahan tersebut tidak boleh alloy atau berreaksi dengan bahan-bahan yang ingin dievaporasikan.

Filamen biasanya terbuat dari Wolfram (W) atau Tungsten, Tallium (Ta), atau Molibdenum (Mo). Dalam penelitian ini menggunakan filamen wire basket karena jenis filamen ini cocok digunakan untuk bahan logam yang berbentuk kawat, seperti : Al, Ag, Pt, dan dalam bentuk pellet.

Proses Pelapisan Pada Sistem Evaporasi

Sistem evaporasi menyediakan sebuah sumber pemanas untuk mengevaporasikan material logam yang diinginkan. Proses evaporasi dapat digambarkan dalam sebuah diagram pada Gambar 5.8.

Pada pemanas (*heater*) ini dilewatkan arus yang cukup tinggi untuk membawa material sumber ke suhu evaporasinya, yaitu suhu yang tekanan uapnya cukup untuk mendekat keluar uap-uap dari material sumber. Dalam proses ini material yang digunakan padat, sedangkan untuk cair tidak bisa karena jika menggunakan cair akan bereaksi dengan elemen pemanasnya. Material sumber yang akan dievaporasikan ini selanjutnya bergerak



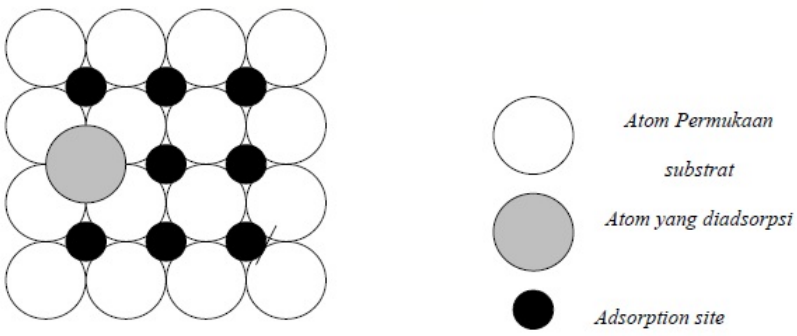
Gambar 5.8: Diagram proses PVD (Physical Vapor Deposition)-Evaporasi

meninggalkan sumber panas dalam bentuk gas. Sifat transport zat berperan dalam peristiwa ini, sifat transport zat didefinisikan sebagai kemampuan zat itu untuk memindahkan materi, energi atau suatu sifat lainnya dari suatu tempat ke tempat lain. Pada saat itu, atom-atom bergerak dengan energi kinetik yang besarnya kira-kira 3/2 kT.

Arah gerakannya kesegala arah dan bergantung pada jenis sumber yang digunakan. Akhirnya proses pelapisan terbentuk setelah atom-atom tersebut mengalami proses kondensasi pada setiap permukaan substrat yang ditimpa atom-atom.

Deposisi Lapisan Tipis

Kondensasi permukaan dari bahan pelapis adalah dengan adsorpsi dari atom-atom atau molekul-molekul evaporasi pada permukaan substrat. yang terdapat beribu-ribu *adsorption site*. Pada permukaan 1 m^2 terdapat kira-kira 10^{15} *adsorption site*. Pada setiap adsorption site ini atom yang datang akan terikat dengan energi adsorpsi tertentu. Jadi *adsorption site* merupakan posisi paling penting pada permukaan substrat, dimana atom-atom yang terdeposisi ini dikenal dengan adatom. Adatom merupakan atom-atom yang menempati *adsorption site* pada permukaan substrat.



Gambar 5.9: Posisi adsorption site pada permukaan substrat

Gaya tarik menarik antara atom yang diadsorpsi dengan substrat disebut energi adsorpsi, yaitu energi yang diperlukan untuk memindahkan atom-atom dari permukaan substrat yang jauh tak berhingga. *Adsorption site* dengan energi adsorpsi yang paling besar merupakan tempat paling stabil bagi atom.

Pada tekanan yang sesuai dengan penguapan, uap bahan pelapis dalam bentuk atom-atom atau molekul-molekul datang pada permukaan substrat dengan tidak mengalami kehilangan energi atau tumbukan. Apabila atom-atom yang datang itu menghampiri substrat, mereka akan mengalami medan gaya dari permukaan substrat.

Atom-atom yang diadsorb tidak akan tinggal diam melainkan mempunyai kecenderungan untuk meninggalkan permukaan substrat kembali *(reevaporasi)*, untuk reevaporasi diperlukan energi yang sama besar dengan energi adsorpsi. Selain reevaporasi, atom-atom itu kemungkinan melakukan migrating atau hopping yaitu berpindah tempat atau melompat ke adsorption site lain yang berdekatan. Energi yang diperlukan untuk berpindah tempat atau melompat ini disebut energi difusi permukaan, dimana energi ini lebih kecil dari energi adsorpsi.

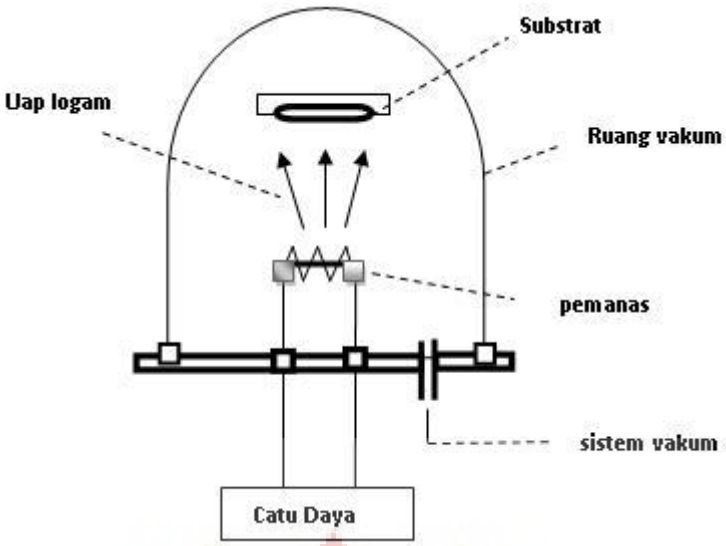
Setelah terbentuk lapisan pada substrat, maka atom-atom bahan pelapis yang datang ke substrat akan menumbuki atom-atom bahan pelapis yang berdeposit pada permukaan substrat. Pada keadaan ini energi ikatan tinggi dan sedikit sekali kemungkinan terjadi refleksi atau desorpsi. Kekuatan ikatan antara atom-atom bahan pelapis yang mengenai substrat dengan lapisan bahan teratas pada substrat sangat mempengaruhi pelengketan (*adhesi*) dari lapisan itu

Metode *vacuum evaporator* (VE), yaitu: material ditempatkan pada (*chamber*) dengan logam yang digunakan sebagai sumber pelapis (Gambar 5.3). Tahapan proses evaporasi: mula-mula *chamber* divakumkan sampai tekanan tertentu, kemudian diikuti dengan pemanas logam pelapis. Atom-atom akan menguap pada permukaan logam. Ketika sampai permukaan logam, material memiliki suhu rendah, atom-atom logam terkondensasi dan membentuk film tipis dipermukaan material (Mikrajuddin Abdullah dan Khairurrijal, 2010). Agar proses berlangsung efisien, maka logam pelapis harus memiliki titik leleh yang lebih rendah.

Penulis dalam buku ini memaparkan metode deposisi film tipis dengan bahan semikonduktor organik CuPc berbentuk serbuk dan berwarna biru. Selaian metode deposisi diuraikan juga tentang hasil deposisi film tipis dan karakterisasi menggunakan X-RD/SEM. Adapun alat yang digunakan untuk deposisi film tipis CuPc adalah *Model JEOL JEE-4X* (Gambar 5.4).

Deposisi film tipis CuPc diatas substrat SiO_2 dilakukan dengan metode penguapan hampa udara pada suhu ruang dan kehampaan tinggi sekitar (8 x10^{-4}) Pa. Selanjutnya dilakukan deposisi film tipis dengan prosedur sebagai beikut:

a) Preparasi sampel.



Gambar 5.10: Metode evaporasi

Gambar 5.11: Vakum evaporasi (VE) *Model JEOL JEE-4X*

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

b) Proses deposisi film tipis CuPc

Deposisi film tipis CuPc diatas substrat dilakukan dengan metode penguapan hampa udara pada kehampaan tinggi dan pada suhu ruang. Pada alat *vacuum evaporator* (VE), terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik film tipis, yaitu: tekanan, arus, waktu dan massa material yang akan dideposisikan. Dalam buku ini akan dijelaskan deposisi film tipis CuPc dengan arus pada alat *vacuum evaporator*.

c) Metode deposisi film tipis CuPc yang dilakukan dengan membuat variasi arus pada alat VE, adapun tahapannya sebagai berikut: Material semikonduktor dengan massa tertentu dimasukan ke dalam *boat* dan ditimbang dengan neraca *Ohaus*. Selanjutnya sampel dimasukan dalam *bell-jar* (ruang evaporasi). Substrat yang telah dibersihkan,

kemudian dipasang pada *holder* tepat di atas *boat* yang berisi material. Pada VE untuk deposisi film tipis divakumkan sehingga tekanannya turun pada nilai tertentu sesuai dengan yang dibutuhkan. Eksperimen awal, melakukan deposisi film tipis dengan metode *vacuum evaporator* selama 30 menit dengan menerapkan arus pada alat VE sebesar 35 A. Sampel yang sudah terdeposisi disimpan dalam wadah kaca yang vakum. Proses deposisi yang telah dilakukan diulangi dengan variasi arus.

5.2.7 Metode Deposisi CBD (*Chemical Bath Deposition*)

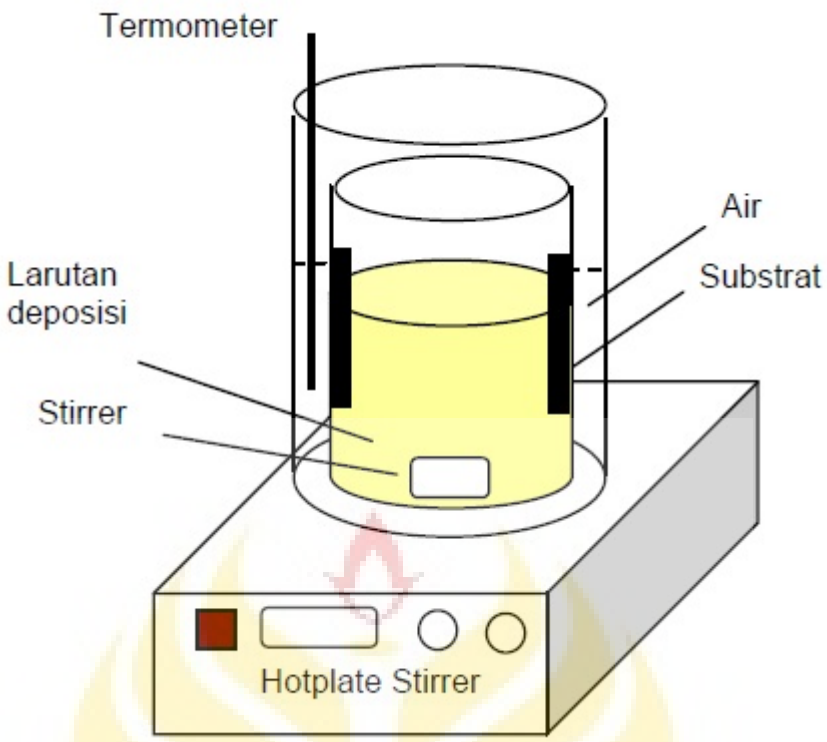
Lapisan tipis dari material CdS dibuat dengan metode deposisi CBD (*Chemical Bath Deposition*). Dengan metode ini, film terdeposisi pada substrat dengan mencelupkan substrat ke dalam larutan yang mengandung ion-ion Cd^{2+} dan ion-ion sulfida S^{2-} sambil dipanaskan serta diaduk. Metode pembuatan CdS ini diadopsi dari metode yang telah dilakukan oleh Eitssayeam et al. (2005) dengan memodifikasi beberapa hal seperti konsentrasi larutan dan waktu deposisi.

Bahan-bahan yang digunakan adalah $CdCl_2$ sebagai sumber ion kadmuim (Cd^{2+}), $CS(NHCd_2)_2$ sebagai sumber ion sulfur (SCd^{2+}-), larutan amonia sebagai agen pengkompleks (complexing agent), sebagai sumber basa dan larutan buffer, air destilasi dan TEA sebagai stabiliser agar larutan tidak cepat mengendap.

Skema metode CBD ditunjukkan pada Gambar 5.12, terdiri dari dua gelas piala dengan ukuran berbeda. Salah satunya berukuran kecil sehingga dapat dimasukkan ke dalam gelas yang lebih besar. Gelas yang kecil diisi larutan deposisi, kemudian dimasukkan ke dalam gelas lebih besar yang diisi air. Sebelumnya, pada dinding sebelah dalam gelas kecil ditempel beberapa substrat kaca TCO. Selanjutnya, kedua gelas diletakkan di atas pemanas (*hot plate*) yang dilengkapi pengaduk magnetik (*magnetic stirrer*).

Skema metode CBD ditunjukkan pada Gambar 5.5, terdiri dari dua gelas piala dengan ukuran berbeda. Salah satunya berukuran kecil sehingga dapat dimasukkan ke dalam gelas yang lebih besar. Gelas yang kecil diisi larutan deposisi, kemudian dimasukkan ke dalam gelas lebih besar yang diisi air. Sebelumnya, pada dinding sebelah dalam gelas kecil ditempel beberapa substrat kaca TCO. Selanjutnya, kedua gelas diletakkan di atas pemanas (*hot plate*) yang dilengkapi pengaduk magnetik (*magnetic stirrer*).

Mula-mula dibuat campuran 20 ml $CdCl_2$ (0,1 M) dengan 20 ml $CS(NH_2)_2$ (1 M) di dalam gelas piala 100 ml. Larutan tersebut diletakkan di atas *hot plate* dipanaskan pada suhu 30_o C dan diputar pada kelajuan 300 rpm selama 30 menit. Sebanyak 10 mL NH_4OH (0.1 M) dan 5 ml TEA ditambahkan ke dalam campuran tersebut. Larutan campuran tersebut dipanaskan pada suhu 70° C dan diputar pada kelajuan 300 rpm selama 2 jam. Optimasi suhu dan waktu perlu dilakukan untuk mengatur morfologi baik struktur, sifat dan ketebalan lapisan yang dihasilkan. Selain itu, dibuat pula CdS dengan doping boron dengan menambahkan asam borat (H_3BO_3) sebanyak 4%, 6% dan 8% wt $CdCl_2$.



Gambar 5.12: Skema deposisi CBD

5.3 XRD (*X-ray diffraction*)

Sinar X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Conrad Rontgen tahun 1895. Karena asalnya tidak diketahui waktu itu maka disebut sinar-X. Sinar-X digunakan untuk tujuan pemeriksaan yang tidak merusak material maupun manusia. Disamping itu, sinar X dapat juga digunakan untuk menghasilkan pola difraksi tertentu yang dapat digunakan dalam analisis kualitatif dan kuantitatif material. *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan salah satu analisis *non-destruktif* yang penting untuk menganalisis semua jenis materi, mulai dari cairan, serbuk dan kristal. Mulai dari penelitian, produksi sampai rekayasa, XRD merupakan metode yang diperlukan untuk karakterisasi bahan dan kontrol kualitas.

Spektroskopi difraksi sinar-X (*X-ray difraction*) merupakan salah satu metoda karakterisasi material yang paling tua dan paling sering digunakan hingga sekarang. Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Difraktometer menggunakan prinsip difraksi. Ada 3 jenis difraktometer yang dikenal . Penamaan difraktometer ini ditentukan oleh sumber radiasi yang digunakan yaitu difraktometer *neutron*, sinar-x dan elektron. Elektron dan neutron dapat digunakan untuk menghasilkan pola difraksi. Meskipun elektron, neutron, dan hamburan sinar-X didasarkan pada proses fisik yang berbeda, pola difraksi yang dihasilkan dianalisis menggunakan teknik difraksi pencitraan koheren sama.

Gambar 5.13: *Diffractometer* (https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction)

A. Instrumen *X-Ray Diffraction*
Instrumen difraksi sinar X (*X-Ray Diffraction*) dirancang untuk aplikasi pengukuran *microstructure*, pengujian dan penelitian. Berbagai aksesori, pengendalian perangkat lunak dan perhitungan dipilih untuk difraksi yang sesuai sistem dan kebutuhan praktis. *X-ray* difraksi instrumen menyediakan satu analisis struktur kristal, *polycrystalline* dan *amorphous* sampel. Analisis kualitatif dan kuantitatif (RIR, internal standar kalibrasi, standar kalibrasi eksternal, kriteria tambahan), pola pengindeksan, perbaikan sel, *crystallite* ukuran, penetapan *strain*, profil dan struktur perbaikan, penetapan sisa *stres*, analisis tekstur, *crystallinity* memperkirakan daerah puncak dan analisis film tipis.

B. *X-ray powder diffractometer*
X-ray powder diffractometer utamanya digunakan untuk identifikasi tahapan dalam bentuk serbuk. *An x-ray beam* yang dikenal panjang gelombangnya difokuskan pada bubuk sampel dan *x-ray* difraksi puncak dihitung menggunakan detektor *germanium*, *the d-spacing* dari pengamatan difraksi puncak dihitung menggunakan Bragg Hukum. *Scintag Pad V* otomatis bubuk *diffractometer* menggunakan *Cu x-ray* tabung filter dengan variabel, empat sampel *changer*dan kebisingan yang rendah, efisiensi tinggi, cair *nitrogen* didinginkan oleh *germanium detector*. *Goniometer* yang bersifat otomatis dan paket perangkat lunak sudah berjalan dari PC yang menjalankan Windows NT 4. Sejumlah *Scintag* paket perangkat lunak yang tersedia digunakan untuk rutin bubuk difraksi akuisisi data, faktor koreksi dan identifikasi puncak.

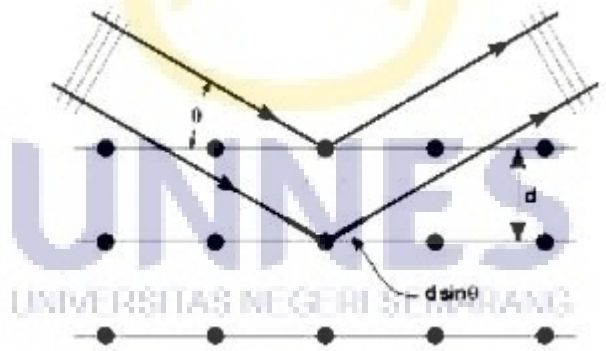
5.3.1 Prinsip kerja XRD (*X-ray diffraction*)

Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang (0,5 sampai dengan 2,0) mikron. Sinar-X dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron yang

berenergi tinggi. Elektron tersebut mengalami perlambatan pada saat masuk ke dalam logam dan menyebabkan elektron kulit atom logam terpental dan membentuk kekosongan. Elektron dengan energi yang lebih tinggi masuk ke tempat kosong dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X. Metode difraksi sinar X digunakan untuk mengetahui struktur lapisan tipis (film tipis) yang terbentuk. Sampel diletakkan pada sampel *holder diffractometer* sinar X.

Proses difraksi sinar-X (*X-ray diffraction*) dimulai dengan menyalakan difraktometer sehingga diperoleh hasil difraksi berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi 2θ dengan intensitas sinar-X yang dipantulkan. Untuk difraktometer sinar-X, sinar-X terpancar dari tabung sinar-X. Sinar-X didifraksikan dari sampel yang konvergen yang diterima *slit* dalam posisi yang simetris dengan tanggapan (*respon*) ke fokus sinar-X. Sinar-X ini ditangkap oleh detektor sintilator dan diubah menjadi suatu sinyal listrik. Sinyal listrik tersebut, setelah dieliminasi komponen noisenya, kemudian dilakukan perhitungan sebagai analisa pulsa tinggi. Teknik difraksi sinar-x juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama.

Komponen utama XRD yaitu terdiri dari tabung katoda (tempat terbentuknya sinar-X), sampel *holder* dan detektor. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut 2θ. Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu.



Gambar 5.14: *Difraksi sinar x* (https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction)

Seberks sinar-X dikenakan pada permukaan material, maka akan terjadi fenomena difraksi gelombang yang memenuhi hukum Bragg :

$$2\ d \sin\theta = n\lambda$$

Dengan n bilangan bulat 1,2,3,..., d adalah tetapan Bragg, yaitu jarak antara bidang, θ (sudut hamburan) dan λ adalah panjang gelombang sinar-X. Material berstruktur Kristal, maka hamburan difraksi akan dilakukan oleh atom-atom pada barisan teratas dan jajaran dibawahnya. Keadaan ini akan membentuk pola interferensi yang saling menguatkan untuk sudut-sudut yang memenuhi hukum Bragg.

Gejala ini teramati dalam bentuk grafik karakteristik spektrum intensitas sebgai fungsi sudut 2θ. Difraksi sinar-X oleh atom-atom kristal dapat diibaratkan sebagai pemantulan sinar-X oleh sekelompok bidang-bidang paralel dalam kristal. Dengan mengukur θ, jarak antara bidang-bidang tersebut untuk kristal (Mikrajuddin Abdullah dan Khairurrijal, 2010), yaitu *dhkl* dapat ditentukan dari hubungan berikut:

$$\frac{1}{d_h kl} = \frac{h^2 + k^2 + l^2}{a^2} \tag{5.1}$$

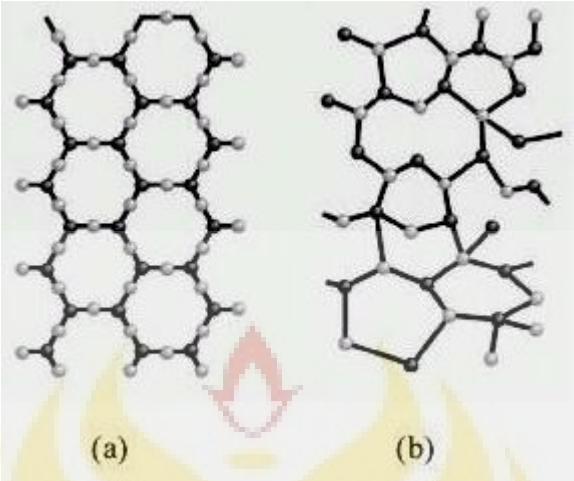
Keterangan:
a adalah parameter kisi
d_{hkl} adalah jarak antara bidang-bidang kristal
(h, k, l) adalah indeks untuk menyatakan arah bidang kristal *(indeks miller)*, sehingga:

$$sin^2\theta = \frac{\lambda(h^2 + k^2 + l^2)}{4a^2} \tag{5.2}$$

Dengan menggunakan persamaan di atas dapat ditentukan besarnya ukuran sel satuan, bidang kristal dan jarak antar bidang kristal. Pengukuran X-RD dilakukan dengan menempatkan sampel pada pemegang sampel stasioner. Selanjutnya sinar-X dengan panjang gelombang kontinu (1,54 $\dot{A}$) dikenakan pada sampel tersebut, sampel akan mendifraksi radiasi secara diskrit, sehingga nilai panjang gelombang λ untuk bidang d dan sudut datang θ akan memenuhi hukum difraksi Bragg. Pencatatan nilai 2 θ dilakukan secara langsung oleh komputer, dengan demikian dapat langsung diperoleh data hasil cetakannya. Untuk mengetahui bidang kristal dari puncak-puncak yang diperoleh, dapat dilakukan dengan mencocokkan sudut difraksi maksimum dengan acuan pada sumber standar yang sesuai, yaitu tabel JCPDS *(Joint Committe on Powder Diffraction Standards)*.

Kristal didefinisikan sebagai komposisi atom-atom zat padat yang memiliki susunan teratur dan periodik dalam pola tiga dimensi. Keteraturan susunan terjadi karena kondisi geometris yang harus memenuhi adanya ikatan atom berarah dan susunan rapat. Atom-atom bergabung membentuk padatan (*solid*), atom-atom itu mengatur dirinya sendiri dalam pola tatanan tertentu yang disebut kristal. Susunan khas atom-atom dalam kristal disebut struktur kristal. Struktur kristal dari hasil penggabungan sel satuan merupakan sekumpulan atom-atom yang tersusun secara khusus dan periodik berulang dalam tiga dimensi pada kisi kristal. Kumpulan atom-atom sebagai penyusun kristal sering disebut basis dan kedudukan atom-atom di dalam ruang dinyatakan oleh kisi. Ditinjau dari strukturnya zat padat dibagi menjadi tiga yaitu *monocrystal* (kristal tunggal), *polycrystal* dan *amorf*. Pada kristal tunggal (*monocrystal*), atom atau penyusunnya mempunyai struktur tetap, karena atom penyusunnya tersusun teratur dalam pola tiga dimensi dan berulang secara periodik dalam rentang panjang tak berhingga. *Polycrystal* adalah kumpulan dari kristal-kristal tunggal yang memiliki ukuran sangat kecil dan saling menumpuk yang membentuk benda padat.

Amorf memiliki pola susunan atom-atom atau molekul-molekul yang acak dan tidak teratur secara berulang. *Amorf* terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak dapat dengan tepat menempati lokasi kisinya. Untuk mengetahui susunan atom kristal dan *amorf* ditunjukkan pada Gambar 5.7.



Gambar 5.15: (a). Kristal, (b). *Amorf* (Smallman dan Bishop, 2000): 13

5.3.2 Data yang diperoleh dari XRD (*X-ray diffraction*)

Hasil pengukuran dengan instrument *X-Ray Diffraction* berupa grafik dikfraktogram. Difraktogram adalah *output* yang merupakan grafik antara 2θ (*diffraction angle*) pada sumbu X versus intensitas pada sumbu Y. Intensitas sinar-X didifraksikan secara terus-menerus direkam sebagai contoh dan detektor berputar melalui sudut masing-masing.

Sebuah puncak dalam intensitas terjadi ketika mineral berisi kisi-kisi dengan *d-spacings* sesuai dengan difraksi sinar-X pada nilai θ. Meski masing-masing puncak terdiri dari dua pemantulan yang terpisah ($K_{\alpha 1}$ dan $K_{\alpha 2}$), pada nilai-nilai kecil dari 2θ lokasi-lokasi puncak tumpang-tindih dengan $K_{\alpha 2}$ muncul sebagai suatu gundukan pada sisi $K_{\alpha 1}$. Pemisahan lebih besar terjadi pada nilai-nilai θ yang lebih tinggi 2θ merupakan sudut antara sinar dating dengan sinar pantul. Sedangkan intensitas merupakan jumlah banyaknya *X-Ray* yang didifraksikan oleh kisi-kisi kristal yang mungkin.

Informasi yang dapat diperoleh dari analisis menggunakan XRD (*X-ray diffraction*) sebagai berikut:

1. Pembangkit sinar-x menghasilkan radiasi elektromagnetik setelah dikendalikan oleh celah penyimpang *(S)*

2. Posisi puncak difraksi memberikan gambaran parameter kisi (a), jarak antar bidang (dhkl), struktur kristal dan orientasi dari sel satuan *(d_{hkl})* dan orientasi dari sel satuan.

3. Intensitas relatif puncak difraksi memberikan informasi gambaran tentang posisi atom dalam suatu sel satuan.

4. Bentuk puncak difraksi memberikan gambaran ukuran kristal dan ketidaksempurnaan kisi. (d_{hkl}) dikelompokkan dalam beberapa grup, dengan intensitas relatif paling tinggi pertama disebut d_1, kedua d_2, ketiga d_3 dan seterusnya.

5.3.3 Keuntungan penggunaan XRD (*X-ray diffraction*)

Keuntungan menggunakan sinar-X dalam karakterisasi material adalah kemampuan penetrasinya, sebab sinar-X memiliki energi sangat tinggi akibat panjang gelombangn pendek. Sinar-X adalah gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang (0,5 - 2,0) mikron. Sinar-x dihasilkan dari penembakan logam dengan elektron berenergi tinggi. Elektron mengalami perlambatan saat masuk logam dan menyebabkan elektron kulit atom logam tersebut terpental membentuk kekosongan. Elektron dengan energi lebih tinggi masuk ke tempat kosong dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X.

5.4 SEM (*Scanning Electron Microscope*)

SEM merupakan jenis instrumen mikroskop elektron yang menggunakan berkas elektron untuk menggambarkan bentuk permukaan material yang akan dianalisis. Fungsi SEM adalah memindai yang terfokus pada balok halus elektron ke sampel. Elektron berinteraksi dengan sampel komposisi molekul. Energi elektron menuju ke sampel secara langsung dalam proporsi jenis interaksi elektron yang dihasilkan dari sampel. Serangkaian energi elektron terukur dapat dihasilkan yang dianalisis oleh sebuah mikroprosesor yang canggih yang menciptakan gambar 3 dimensi atau spektrum elemen unik di dalam sampel yang dianalisis.

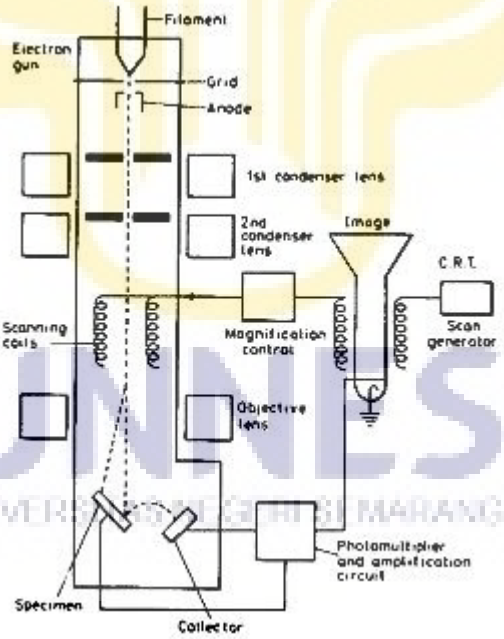
Untuk mengetahui morfologi dan analisis permukaan material/bahan dapat digunakan instrumen *Scanning Elektron Microscopy* (SEM). Karakterisasi bahan yang menggunakan SEM dimanfaatkan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural, dan komposisi pencemaran suatu bahan. Hasil yang diperoleh dari karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung pada hasil SEM berupa Scanning Elektron Micrograp yang menyajikan bentuk tiga dimensi berupa gambar atau foto. Mikroskop ini digunakan untuk mempelajari bentuk dari struktur permukaan obyek, yang secara umum diperbesar antara 1.000 - 40.000 kali. Hasil SEM yang berupa gambar morfologi menyajikan bentuk permukaan bahan dengan berbagai lekukan dan tonjolan.

Mekanisme kerja SEM sebagai berikut: bedil elektron (*electron gun*) akan memamcarkan berkas elektron yang kemudian difokuskan oleh lensa elektromagnet. Berkas elektron kemudian berinteraksi dengan cuplikan yang menghasilkan elektron sekunder dan karakteristik sinar-X. Dengan mengatur tegangan pemercepat tabung SEM, maka dapat dipilih resolusi yang diinginkan. Sedangkan pemayaran (*scanning*) daerah cuplikan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur pembangkit payar (*scanning genera-*

tor) dan kumparan payar (*scanning coils*). SEM menggunakan hamburan balik elektron-elektron (E= 30 keV) yang merupakan energi datang dan elektron-elektron sekunder (E= 100 keV) yang dipantulkan dari benda uji. Karena elektron mempunyai energi yang rendah , maka elektro-elektron tersebut dapat dibelokkan membentuk sudut dan menimbulkan bayangan topografi di tampilan monitor (RT) serta dapat dicetak menjadi foto.

5.4.1 Prinsip kerja SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Prinsip kerja dari SEM (*Scanning Electron Microscope*) dapat dijelaskan sebagai berikut: sumber elektron dari filamen yang terbuat dari tungsten memancarkan berkas elektron. Jika elektron tersebut berinteraksi dengan bahan (*spesimen*) maka akan menghasilkan elektron sekunder dan sinar-X karakteristik. *Scanning* pada permukaan bahan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur scanning generator dan scanning coils. Elektron sekunder hasil interaksi antara elektron dengan permukaan *spesimen* ditangkap oleh detektor SE (*Secondary Electron*) yang kemudian diolah dan diperkuat oleh amplifier dan kemudian divisualisasikan dalam monitor sinar katoda (CRT). Skema dasar SEM disajikan pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16: Skema dasar SEM (Smallman dan Bishop, 1999: 144)

Detector yang terdapat di dalam peralatan dari SEM (*Scanning Electron Microscope*) akan mendeteksi berkas elektron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis. Selain itu juga dapat menentukan lokasi berkas electron yang berintensitas tertinggi itu. Ketika dilakukan pengamatan terhadap material, lokasi permukaan benda yang ditembak dengan berkas elektron yang ber intensitas tertinggi di-*scan* keseluruh permukaan material pengamatan. Karena luasnya daerah pengamatan

kita dapat membatasi lokasi pengamatan yang kita lakukan dengan melakukan *zoon-in* atau *zoon-out*. Dengan memanfaatkan berkas pantulan dari benda tersebut maka informasi dapat di ketahui dengan menggunakan program pengolahan citra yang terdapat dalam komputer.

5.4.2 Kelebihan SEM (*Scanning Electron Microscope*)

SEM (*Scanning Electron Microscope*) memiliki resolusi yang lebih tinggi dari pada mikroskop optik. Hal ini di sebabkan oleh panjang gelombang de Broglie yang memiliki elektron lebih pendekdek dari pada gelombang optik. Karena semakin kecil panjang gelombang yang digunakan maka semakin tinggi resolusi yang dihasilkan mikroskop.

5.4.3 SEM dilengkapi dengan ED-X

Teknik ED-X (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) digunakan untuk mengetahui adanya kandungan berbagai unsur kimia material semikonduktor. Sistem analisis menggunakan ED-X bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM dan tidak dapat bekerja tanpa adanya *Scanning Elektron Microscopy* (SEM). Apabila Teknik ED-X dan SEM digabungkan sehingga dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang dimiliki oleh fasa yang terlihat pada struktur mikro. Prinsip kerja ED-X yaitu dengan menangkap dan mengolah sinyal flourensensi sinar-x yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan (specimen). Sinar-x tersebut dapat dideteksi dengan detektor zat padat, yang dapat menghasilkan pulsa intensitas sebanding dengan panjang gelombang sinar-x.

Gambar 5.17: Hamburan dari elektron jatuh pada lembaran tipis (Smallman, 1999: 142)

Struktur material diketahui dengan cara melihat interaksi yang terjadi, jika *specimen* padat dikenai berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh sebagian dihamburkan, sebagian akan diserap dan menembus *specimen*. Bila *specimen* cukup tipis, sebagian besar

ditransmisikan dan beberapa elektron akan dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam specimen akan menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dsn elektron *auger*, yang semuanya dapat digunakan untuk karakterisasi material. Gambar 5.17 menunjukkan elektron-elektron apabila mengenai *specimen*.

Interaksi yang terjadi antara elektron dengan atom pada sampel akan menghasilkan pelepasan elektron yang berenergi rendah, foton sinar-X dan elektron *auger*, yang kesemuanya bisa digunakan untuk mengkarakterisasi material. (Smallman, 1999). Elektron sekunder adalah elektron yang dipancarkan dari permukaan kulit dari atom terluar yang dihasilkan oleh interaksi berkas elektron jatuh dengan padatan, sehingga mengakibatkan terjadinya loncatan elektron yang terikat lemah dari pita konduksi. Elektron *auger* merupakan elektron dari kulit orbit terluar yang dikeluarkan atom ketika elektron tersebut menyerap energi yang dilepaskan oleh elektron lain yang jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah. Apabila berkas elektron mengenai pada sampel padat, maka sebagian berkas yang jatuh tersebut akan dihamburkan kembali dan sebagian lagi akan menembus sampel. Untuk sampel yang tipis maka sebagian besar elektron akan diteruskan, beberapa elektron akan dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi dan sebagian lagi akan dihamburkan secara tak elastis.

Teknik ini juga dapat dimanfaatkan untuk mengamati unsur-unsur pada daerah kecil permukaan bahan secara kualitatif dan semi kuantitatif. Hal ini karena masing-masing unsur menyebar pada panjang gelombang spesifik.Untuk mengenali jenis atom permukaan yang mengandung multi atom, peneliti lebih banyak mengunakan teknik ED-X. Sebagian besar alat SEM dilengkapi dengan kemampuan ini, namun tidak semua SEM punya fitur ini. ED-X dihasilkan dari karakteristik Sinar-X, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin kita ketahui komposisinya. Maka setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak- puncak tertentu yang mewakili suatu unsur yang terkandung.

Dengan menggunakan instrumen SEM ED-X kita dapat membuat suatu *elemental mapping* (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda-beda dari elemen di permukaan bahan. ED-X bisa digunakan untuk menganalisa secara kunatitatif dari persentase elemen. Contoh dari aplikasi ED-X digambarkan pada diagram dibawah ini. Alat ini dilengkapi dengan detektor dispersi energi (ED-X) sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen sampel yang dianalisis. Tujuan SEM-EDX untuk mengetahui kegradulaan struktur mikro dan komposisi unsur. Aplikasi penggunaan SEM-EDX dirangkum sebagai berikut:

1). Topografi, menganalisa permukaan dan teksture (kekerasan, reflektivitas dsb)

2). Morfologi, menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel

3). Komposisi, menganalisa komposisi permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif.

Sedangkan kelemahan SEM (*Scanning Electron Microscope*) antara lain:

a. Memerlukan kondisi vakum dan ukuran sampel besar.

b. Hanya menganalisa permukaan dan sangat tergantung pada software.

c. Resolusi lebih rendah dari TEM (*Transmission Electron Microscopy*).

d. Sampel harus bahan konduktif, jika tidak konduktor perlu dilapis logam seperti emas.

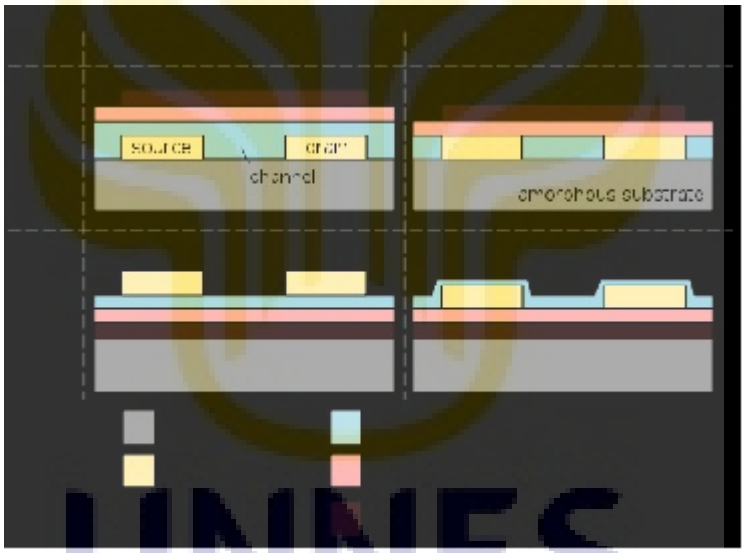
e. Terbatas pada hubungan linier.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Bab 6

TFT (Thin Film Transistor)

TFT merupakan perangkat semikonduktor yang digunakan untuk memperkuat dan mengubah sinyal elektronik dengan bantuan film tipis dan lapisan dielektrik yang anti-listrik serta elemen kimia pada lapisan selubungnya, dalam hal ini pada monitor LCD.



Gambar 6.1: Beberapa jenis konstruksi TFT

Transistor Film Tipis (TFT) adalah perangkat yang sangat penting untuk peralatan elektronik mikro karena dapat dibuat pada substrat dengan biaya rendah dan mudah. Oleh karena itu, penerapannya bukan hanya sebagai display panel datar saja tetapi dapat diterapkan pada peralatan lain, seperti display kristal cair (LCD), pemasang dioda pemancar cahaya organik (OLED), dan kertas elektronik, namun juga alat penyensor seperti sensor cahaya sekitar, pemindai gambar, dan retina buatan serta elektronika, seperti prosesor informasi.

Divais dari *Thin-film* (lapisan tipis) transistor*liquid-crystal display*, perhatikan tentang TFT LCD.Beberapa jenis dari bentuk konstruksi TFT *(Thin-film Transistor*). Sebuah transistor film tipis (TFT) adalah jenis khusus dari transistor efek medan dibuat dengan

mendepositokan film tipis dari lapisan semikonduktor aktif serta dielektrik lapisan dan logam kontak atas (tapi non-budidaya) substrat mendukung. Substrat yang umum digunakan adalah kaca, karena aplikasi utama TFTs ada pada display kristal cair. Ini berbeda dengan transistor konvensional, dimana bahan semikonduktor biasanya adalah substrat, seperti wafer silikon.

TFT dapat dibuat dengan menggunakan berbagai macam bahan semikonduktor. Bahan yang umum adalah silikon. Karakteristik TFT berbasis silikon tergantung pada keadaan kristal silikon; Artinya, lapisan semikonduktor dapat berupa silikon amorf, silikon mikrokristalin, atau dapat di anil menjadi polisilikon.

Bahan lain yang telah digunakan sebagai semikonduktor di TFT meliputi semikonduktor senyawa seperti kadmium selenide, atau oksida logam seperti seng oksida atau hafnium oksida. Aplikasi untuk oksida hafnium adalah sebagai dielektrik- tinggi. TFT juga telah dibuat dengan menggunakan bahan organik, disebut transistor efek medan organik atau OTFT.

Dengan menggunakan material semikonduktor transparan dan juga elektroda yang transparan, seperti unsur timah oksida indium (ITO), beberapa perangkat TFT (*Thin-film Transistor*) dapat dibuat benar-benar transparan. TFT transparan semacam itu (TTFT) dapat digunakan untuk konstruksi panel display video. Karena substrat konvensional tidak dapat menahan suhu anil tinggi, proses pengendapan harus diselesaikan pada suhu yang relatif rendah. Deposisi uap kimia dan deposisi uap fisik (biasanya sputtering) diterapkan.

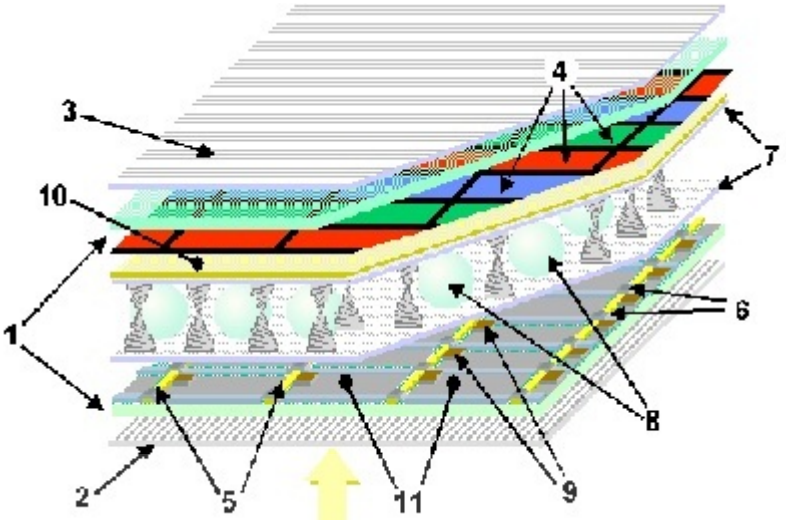
Solusi pertama kali yang diproses TFT (*Thin-film Transistor*), berdasarkan seng oksida, dilaporkan pada tahun 2003 oleh para periset/peneliti di Oregon State University. Laboratorium Portugis CENIMAT di Universidade Nova de Lisboa telah menghasilkan TFT transparan pertama di dunia pada suhu kamar. CENIMAT juga mengembangkan transistor kertas pertama, yang dapat menyebabkan aplikasi seperti majalah dan halaman jurnal dengan gambar bergerak.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Gambar 6.2 ini tidak termasuk sumber cahaya yang sebenarnya (biasanya lampu neon katoda dingin atau LED putih), hanya matriks layar TFT.

Keterangan:

- 1 - Glass plates
- 2/3 - Horizontal and vertical polarisers
- 4 - RGB colour mask
- 5/6 - Horizontal and vertical command lines
- 7 - Rubbed polymer layer



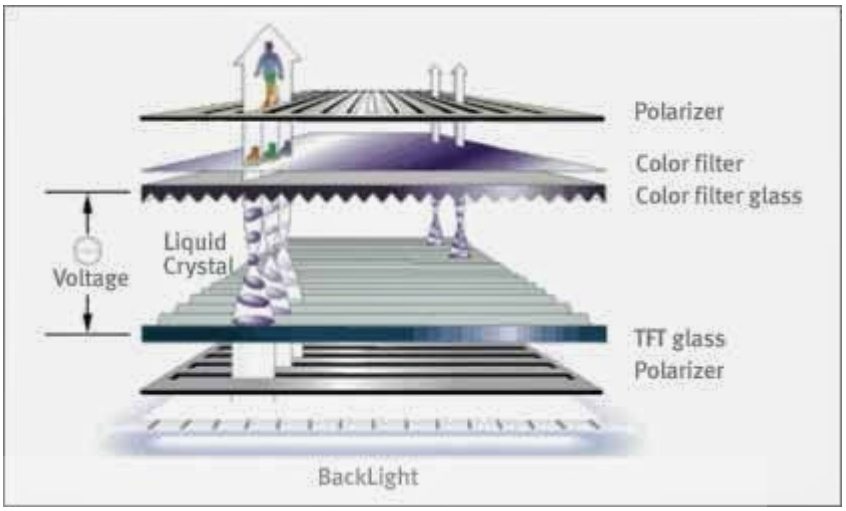
Gambar 6.2: Struktur matriks layar TFT

- 8 - Spacers
- 9 - Thin-film transistors
- 10 - Front electrode
- 11 - Rear electrodes

Aplikasi transistor film tipis yang paling dikenal adalah TFT LCD, sebuah implementasi teknologi LCD. Transistor tertanam di dalam panel itu sendiri, mengurangi crosstalk antara piksel dan meningkatkan stabilitas gambar.Pada tahun 2008, banyak TV LCD warna dan monitor menggunakan teknologi ini. Panel TFT sering digunakan dalam aplikasi radiografi digital pada radiografi umum. Sebuah TFT digunakan baik dalam penangkapan langsung maupun tidak langsung [jargon] sebagai dasar untuk reseptor gambar dalam radiografi medis.

Layar AMOLED (*active-matrix organic light-emitting diode*) juga mengandung suatu lapisan *Thin-film Transistor* (TFT). Aspek yang paling menguntungkan (netralitas diperdebatkan) dari segi teknologi TFT adalah penggunaan transistor yang terpisah untuk setiap piksel pada layar. Karena setiap divais transistor kecil, jumlah muatan yang dibutuhkan untuk mengendalikannya juga kecil. Hal ini memungkinkan pengambilan ulang layar yang sangat cepat.

TFT merupakan salah satu tipe layar*Liquid Crystal Display* (LCD) yang datar, dimana tiap-tiap pixel dikontrol oleh satu hingga empat transistor. Teknologi ini menyediakan resolusi terbaik dari teknik panel data. Layar TFT sering disebut juga *active-matrix* LCD. Layar ini dapat menampilkan gambar yang kaya warna tapi mahal. Dan permukaannya sensitif terhadap sentuhan. Selain itu layar ini tidak cocok untuk tampilan yang eksak seperti misalnya untuk CAD



Gambar 6.3: Tipe layar *Liquid Crystal Display* (LCD)

6.1 Prinsip Kerja Monitor LCD TFT (*Thin Film Transistor*)

Liquid Crystal diterjemahkan kristal cair. Padat dan cair merupakan dua sifat benda yang berbeda. Molekul-molekul benda padat tersebar secara teratur dan posisinya tidak berubah-ubah, sedangkan molekul-molekul zat cair letak dan posisinya tidak teratur karena dapat bergerak acak ke segala arah.

1. Konsep *Liquid Crystal* (Kristal Cair) Pada tahun 1888, seorang ahli botani, Friedrich Reinitzer, menemukan fase yang berada di tengah-tengah antara fase padat dan cair. Fase ini memiliki sifat-sifat padat dan cair secara bersama-sama. Molekul-molekulnya memiliki arah yang sama seperti sifat padat, tetapi molekul-molekul itu dapat bergerak bebas seperti pada cairan. Fase kristal cair ini berada lebih dekat dengan fase cair karena dengan sedikit penambahan temperatur (pemanasan) fasenya langsung berubah menjadi cair. Sifat ini menunjukkan sensitivitas yang tinggi terhadap temperatur. Sifat inilah yang menjadi dasar utama pemanfaatan kristal cair dalam teknologi.

Gambar 6.4: Perbedaan karakteristik molekul

Untuk memahami sensitivitas kristal cair terhadap suhu, kita bisa menggunakan yang dikenal sebagai mood ring. Mood ring dianggap sebagai cincin ajaib yang punya daya magis yang dapat membaca emosi pemakainya. Perubahan suhu menyebabkan terpilinnya struktur molekul (twist) sehingga panjang gelombang cahaya yang diserap atau direfleksikan berubah pula. Sewaktu suhu meningkat, molekul kristal cair terpilin dan menyebabkan warna merah dan hijau lebih banyak diserap dan warna biru lebih banyak direfleksikan sehingga warna yang terlihat adalah biru tua. Suhu tubuh minimum saat sedang tegang karena pembuluh kapiler masuk semakin dalam sehingga suhu turun (digambarkan dengan warna hitam sebagai warna yang ditunjukkan kristal cair pada suhu terendah). Selain temperatur, kristal cair juga sangat sensitif terhadap arus listrik (beda potensial). Prinsip semacam inilah yang digunakan dalam teknologi LCD. Ini sebabnya layar laptop terkadang terlihat berbeda di musim dingin atau saat digunakan di cuaca sangat panas.

2. *Nematic Liquid Crystal*

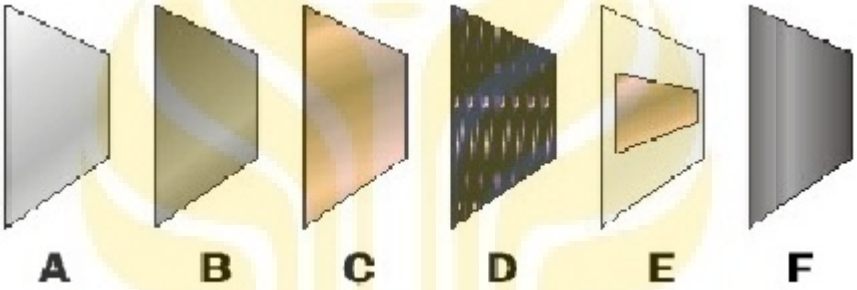
   Jenis kristal cair yang digunakan dalam pengembangan teknologi LCD adalah tipe nematic (molekulnya memiliki pola tertentu dengan arah tertentu). Tipe yang paling sederhana adalah *twisted nematic* (TN) yang memiliki struktur molekul yang terpilin secara alamiah (dikembangkan pada tahun 1967). Struktur TN terpilin secara alamiah sebesar 90o (Gambar 6.5). Struktur TN ini dapat dilepas pilinannya (untwist) dengan menggunakan arus listrik.

Gambar 6.5: Fase nematic dan bahan bersifat nematic

Pada Gambar 6.5, kristal cair TN (D) diletakkan di antara dua elektroda (C) dan (E) yang dibungkus lagi (seperti sandwich) dengan dua panel gelas (B dan F) yang sisi luarnya dilumuri lapisan tipis polarizing film. Lapisan A merupakan cermin yang dapat memantulkan cahaya yang berhasil menembus lapisan-lapisan sandwich LCD. Kedua elektroda dihubungkan dengan baterei sebagai sumber arus. Panel B memiliki polarisasi yang berbeda 90o dari panel F.

Sifat unik yang dapat langsung bereaksi dengan adanya arus listrik ini dimanfaatkan sebagai alat ON/OFF LCD. Tetapi sistem ini masih membutuhkan sumber cahaya

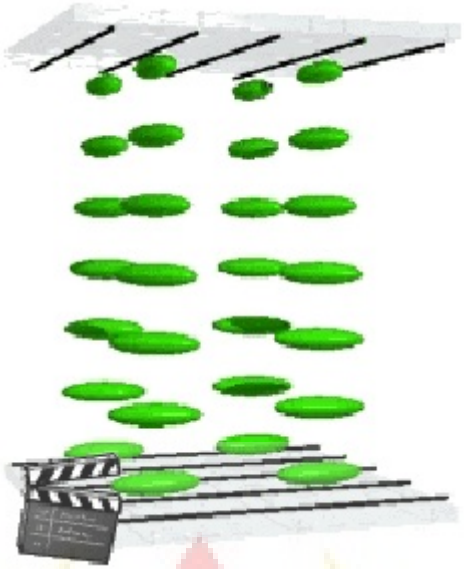
Gambar 6.6: Ilustrasi twisted nematic (TN)



Gambar 6.7: Susunan sandwich layar LCD

Gambar 6.8: Cahaya mengikuti bentuk pilinan (tanpa arus)

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG



Gambar 6.9: Cahaya mengikuti bentuk untwisted TN (ada arus)

dari luar. Komputer dan laptop biasanya dilengkapi dengan lampu fluorescent yang diletakkan di atas, samping, dan belakang sandwich LCD supaya dapat menyebarkan cahaya (backlight) sehingga merata dan menghasilkan tampilan yang seragam di seluruh bagian layar.

Perancangan dan pembuatan LCD tidak semudah konsepnya. Masalah pertama disebabkan tidak ada satu pun senyawa TN yang sudah ditemukan yang dapat memberikan karakteristik paling ideal. Ini berarti kristal cair yang digunakan harus merupakan campuran berbagai senyawa TN. Untuk mencampur senyawa-senyawa ini diperlukan percobaan untuk menentukan formulasi terbaik, dan hal ini bukan hal mudah.

Kadang-kadang dibutuhkan sampai 20 macam senyawa TN untuk mendapatkan karakteristik yang diinginkan. Bayangkan saja, mencampur dua macam senyawa saja sudah sangat sulit karena karakteristik masing-masing (misalnya rentang suhu) saling mempengaruhi. Belum lagi penentuan titik leleh campuran yang terbentuk. Selain itu, kristal cair TN yang terpilin sebesar 90o membutuhkan beda potensial sebesar 100 % untuk mencapai posisi untwist (posisi ON).

Peter Le Comber dan Walter Spear (juga dari Inggris) menemukan solusi lain dengan cara menggunakan bahan semikonduktor silikon amorf untuk membuat Thin-Film Transistor (TFT) pada tiap pixel TN. Metode ini menghasilkan tampilan dengan kualitas tinggi tetapi memerlukan biaya produksi yang sangat mahal dan melibatkan proses pembuatan yang rumit. Tentu saja rumit, karena untuk menghasilkan gambar dengan kualitas 256 subpixel diperlukan sejumlah 256 pixel warna merah x 256 pixel biru x 256 pixel hijau, yang hasilnya sebanyak 16.8 juta. 16.8 juta transistor super mini harus dibuat dan dilekatkan ke lapisan TN. Tentu saja biayanya menjadi sangat mahal.

Tetapi seiring dengan semakin majunya teknologi, biaya pembuatan TFT sedikit demi sedikit bisa ditekan karena ada penyederhanaan proses pembuatannya.

Begini cara kerja sandwich ajaib ini. Cahaya masuk melewati panel F sehingga terpolarisasi. Saat tidak ada arus listrik, cahaya lewat begitu saja menembus semua lapisan, mengikuti arah pilinan molekul-molekul TN (90o), sampai memantul di cermin A dan keluar kembali. Tetapi ketika elektroda C dan E (elektroda kecil berbentuk segi empat yang dipasang di lapisan gelas) mendapatkan arus, kristal cair D yang sangat sensitif terhadap arus listrik tidak lagi terpilin sehingga cahaya terus menuju panel B dengan polarisasi sesuai panel F. Panel B yang memiliki polarisasi yang berbeda 90_o dari panel F menghalangi cahaya untuk menembus terus. Karena cahaya tidak dapat lewat, pada layar terlihat bayangan gelap berbentuk segi empat kecil yang ukurannya sama dengan elektroda E (berarti pada bagian tersebut cahaya tidak dipantulkan oleh cermin A).

6.2 Perbedaan Monitor CRT dan Monitor LCD TFT

A. Monitor CRT Memiliki warna lebih akurat dan tajam, resolusi monitor fleksibel, perawatan mudah, jika rusak dapat di servis, bebas dead pixel, ghosting dan viewing angle, harga lebih murah, monitor CRT mengkonsumsi daya listrik 2x lipat dibanding LCD pada ukuran inch yang sama, bergantung pada refreshrate, radiasi lebih besar, rentan distorsi, glare dan flicker, dimensi besar dan berat.

Gambar 6.10: Monitor CRT

Input monitor ini adalah dari VGA ataupun yang lainnya. Sinyal gambar dari VGA ini kemudian diterima oleh rangkaian BLOK VIDEO dan rangkaian SYNCRONISASI HORISONTAL dan VERTIKAL. Sinyal yang masuk ke blok video adalah sinyal warna merah, hijau dan biru atau Red green dan Blue, makanya rangkaian VIDEO sering disebut juga blok RGB. jadi blok video ini hanya mengolah warna saja. hasil dari

blok ini adalah menuju ke katoda tabung yang juga terbagi menjadi 3 warna yaitu R, G dan B. katoda ini fungsinya untuk menghasilkan elektron, jadi masing-masing katoda menghasilkan elektron. Sinyal syncronisasi vertikal dan horisontal diproses oleh rangkain syncronisasi untuk kemudian diteruskan ke rangkaian HORISONTAL dan rangkaian VERTIKAL. fungsi rangkaian sincronisasi ini adalah untuk mengolah dan menghasilkan gambar, sehingga jika sinyal ini hilang salah satu maka layar monitor akan kelihatan seperti diacak. Jadi ada dua bagian pertama yang bekerja agar monitor nyala dan bekerja normal yaitu :

- blok video dan
- blok syncronisasi vertikal dan horizontal

Kemudian dari syncronisasi vertikal diteruskan ke rangkaian vertikal, di sini sinyal vertikal diolah dengan komponen utama IC VERTIKAL yang berfungsi menggerakkan yoke vertikal. Kemudian dari syncronisasi horisontal diteruskan ke rangkaian horisontal dan disini sinyal horisontal di olah dengan komponen utama transistor horisontal yang berfungsi menggerakkan flyback dan yoke tabung. Flyback digunakan untuk menghasilkan tegangan sangat tinggi yaitu sekitar 26 KV, agar elektron dari katoda tabung dapat menembak ke anoda tabung sehingga muncul gambar. jadi kalau flyback tidak bekerja maka elektron tidak akan menembak dan monitor akan mati. Yoke digunakan untuk mengarahkan elektron yang dihasilkan oleh katoda tabung agar terarah baik, yoke horisontal untuk mengarahkan elektron ke arah horisontal dan yoke vertikal untuk mengarahkan elektron ke arah vertikal, dan jika dua-duanya digabung maka elektron akan menembak ke anoda tabung secara merata dan sempurna. Kemudian yang terakhir adalah rangkaian controller / driver dimana rangkaian ini berfungsi untuk mengatur settingan monitor, lebar sempitnya dan tinggi rendahnya serta terang gelapnya.

B. Monitor LCD TFT Karakter bright yang nyaman dimata serta bebas distorsi, Tidak bergantung pada refreshrate, user frendly, hemat listrik, ukuran yang ringkas, ringan serta lebih keren, viewing angle terbatas, tampilan gambar baik hanya di resolusi native-nya, response time dan ghosting, warna kurang akurat, narga lebih mahal.

   Liquid Crystal Display (LCD): Sebuah teknologi layar digital yang menghasilkan citra pada sebuah permukaan yang rata (flat) dengan memberi sinar pada kristal cair dan filter berwarna.

   - Hanya memakan sedikit ruang, rendah daya, dan panas yang dihasilkan lebih sedikit dibanding monitor CRT (cathode ray tube).
   - Tidak ada flicker dan kedipannya sangat rendah sehingga enak dipandang berjam-jam.

Gambar 6.11: Monitor LCD TFT

- Untuk ukuran yang sama, harga lebih mahal dibanding monitor CRT.

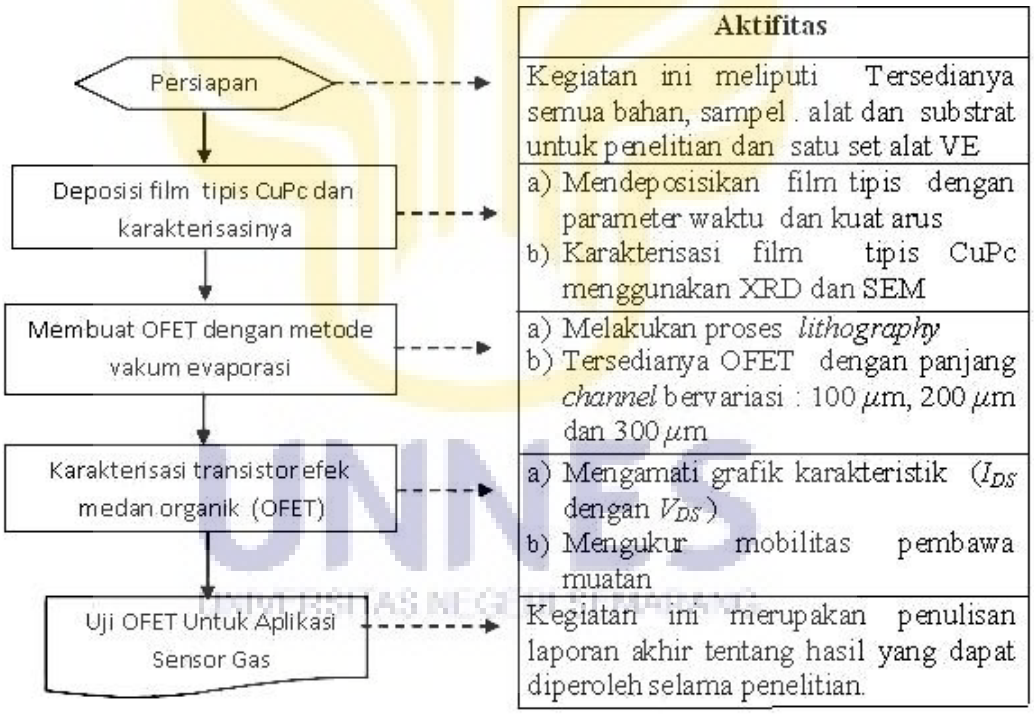
Telah lama dipakai sebagai layar untuk laptop, komputer desktop juga telah mulai menggunakan monitor yang memakai teknologi LCD ini. LCD memiliki banyak kelebihan dibanding monitor CRT. Mereka mampu menampilkan teks yang jernih dan tidak ada flicker, yang berarti mengurangi kelelahan mata. Karena tebalnya kurang dari 10 inci (25 cm), monitor LCD untuk desktop mengambil ruang yang lebih kecil dibanding monitor CRT. Kekurangannya: kualitas warna layar LCD tidak dapat dibandingkan dengan monitor CRT, dan harganya yang mahal membuatnya tak terjangkau bagi kebanyakan orang. Ditemukan tahun 1888, kristal cair merupakan cairan kimia yang molekul-molekulnya dapat diatur sedemikian rupa bila diberi medan elektrik–seperti molekul-molekul metal bila diberi medan magnet. Bila diatur dengan benar, sinar dapat melewati kristal cair tersebut.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Bab 7

PROSES PEMBUATAN OFET

Proses dalam pembuatan OFET (Transistor Efek Medan Organik) untuk aplikasi sensor gas beracun sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir (Gambar 7.1). Pembuatan OFET ini dilakukan dengan deposisi film tipis dengan metode vakum evaporasi (VE) pada suhu ruang dan teknik *lithography*.



Gambar 7.1: Bagan alir dalam pembuatan OFET untuk aplikasi sensor gas beracun

7.1 Deposisi Film Tipis

Pembuatan OFET untuk aplikasi sensor gas beracun ini menggunakan material/ bahan untuk deposisi film tipis adalah semikonduktor organik. Selanjutnya dilakukan deposisi film tipis dengan prosedur sebagai beikut:

a) Preparasi sampel

- Pemotongan kaca preparat berukuran (1,5 x 2,5) cm^2.
- Kaca preparat terlebih dahulu dicuci menggunakan alat *Ultrasonic Cleaner Model Core-Parmer* dengan tahapan, sebagai berikut: kaca preparat dicuci dengan etanol (96%) selama 1 jam, kemudian dicuci dengan menggunakan aceton (>99%) selama 1 jam. Selanjutnya dilakukan pencucian dengan deterjen dan etanol (96%) selama 1 jam. Sebelum dimasukan ke dalam alat evaporasi, kaca preparat dicuci dengan etanol (96%) yang mendidih.

b) Proses deposisi film tipis
Deposisi film tipis CuPc diatas substrat SiO_2 dilakukan dengan metode penguapan hampa udara (Model JEOL JEE-4X) pada kehampaan tinggi sekitar (8 x10-4) Pa. Pada alat *vacuum evaporator* (VE), terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik film tipis, yaitu: tekanan, arus, waktu pada saat deposisi, massa dari material CuPc yang akan dideposisikan. Dalam penelitian ini, akan dilakukan dengan menggunakan parameter arus pada alat *vacuum evaporator* untuk memperoleh variasi laju deposisi/ morfologi film tipis CuPc.

c) Metode deposisi film tipis CuPc yang dilakukan dengan variasi arus (35 A, 40 A, 45 A dan 50 A) pada alat VE, adapun tahapannya sebagai berikut:

- Material semikonduktor yang massanya 200 mg dimasukan ke dalam *boat* dan ditimbang dengan neraca Ohaus.
- Selanjutnya sampel dimasukan ke dalam *bell-jar* (ruang evaporasi).
- Substrat yang telah dibersihkan, kemudian dipasang pada *holder* tepat di atas *boat* yang berisi CuPc.
- Alat VE untuk deposisi divakumkan, sehingga tekanannya menjadi 8.10^{-4} Pa.
- Eksperimen awal, melakukan deposisi film tipis dengan metode *vacuum evaporator* selama 30 menit dengan menerapkan arus pada alat VE sebesar 35 A.
- Sampel yang sudah terdeposisi disimpan dalam wadah kaca yang vakum.
- Proses deposisi film tipis diulangi dengan variasi arus, yaitu: 40 A, 45 A dan 50 A.

7.2 Karakteristik film tipis

Karakterisasi film tipis dilakukan untuk mendapatkan bahan aktif yang optimum untuk dimanfaaatkan dalam pembuatan OFET. Ada 2 macam karakterisasi film tipis: pengujian morfologi menggunakan SEM dan struktur kristalnya dengan X-RD.

7.2.1 *X-ray diffraction* (XRD)

Sinar X ditemukan pertama kali oleh Wilhelm Conrad Rontgen tahun 1895. Karena asalnya yang tidak diketahui waktu itu maka disebut sinar-X. Sinar-X digunakan untuk tujuan pemeriksaan yang tidak merusak material maupun manusia. Disamping itu, sinar X dapat juga digunakan untuk menghasilkan pola difraksi tertentu yang dapat digunakan dalam analisis kualitatif dan kuantitatif material. *X-Ray Diffraction* (XRD) merupakan salah satu analisis *non-destruktif* yang penting untuk menganalisis semua jenis materi, mulai dari cairan, serbuk dan kristal. Mulai dari penelitian, produksi sampai rekayasa, XRD merupakan metode yang diperlukan untuk karakterisasi bahan dan kontrol kualitas.

Sinar-X dihasilkan dari suatu penembakan logam dengan elektron yang mempunyai energi sangat tinggi. Elektron tersebut mengalami perlambatan saat masuk ke dalam logam dan menyebabkan elektron pada kulit atom logam tersebut terpental membentuk kekosongan. Elektron dengan energi lebih tinggi masuk ke tempat kosong dengan memancarkan kelebihan energinya sebagai foton sinar-X. Metode difraksi sinar X digunakan untuk mengetahui struktur lapisan tipis yang terbentuk.

Proses difraksi sinar-X dimulai dengan menyalakan difraktometer sehingga diperoleh hasil difraksi berupa difraktogram yang menyatakan hubungan antara sudut difraksi 2θ dengan intensitas sinar-X yang dipantulkan. Untuk difraktometer sinar-X, sinar-X terpancar dari tabung sinar-X. Sinar-X didifraksikan dari sampel yang konvergen yang diterima *slit* dalam posisi yang simetris dengan tanggapan (*respon*) ke fokus sinar-X. Sinar-X ini ditangkap oleh detektor sintilator dan diubah menjadi suatu sinyal listrik. Sinyal listrik tersebut, setelah dieliminasi komponen noisenya, kemudian dilakukan perhitungan sebagai analisa pulsa tinggi. Teknik difraksi sinar-x juga digunakan untuk menentukan ukuran kristal, regangan kisi, komposisi kimia dan keadaan lain yang memiliki orde yang sama.

Komponen utama XRD yaitu terdiri dari tabung katoda (tempat terbentuknya sinar-X), sampel *holder* dan detektor. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut 2θ. Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu.

7.2.2 SEM (*Scanning Electron Microscope*)

SEM adalah jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan material yang dianalisis. Fungsi SEM adalah memindai yang terfokus pada balok halus elektron ke sampel. Elektron berinteraksi dengan sampel komposisi molekul. Energi elektron menuju ke sampel secara langsung dalam proporsi jenis interaksi elektron yang dihasilkan dari sampel. Serangkaian energi elektron terukur dapat dihasilkan yang dianalisis oleh sebuah mikroprosesor yang canggih yang menciptakan gambar 3 dimensi atau spektrum elemen unik di dalam sampel yang dianalisis.

Untuk mengetahui morfologi dan analisis permukaan material dapat digunakan SEM.

Karakterisasi bahan dengan SEM dimanfaatkan untuk melihat struktur topografi permukaan, ukuran butiran, cacat struktural dan komposisi pencemaran bahan. Hasil karakterisasi ini dapat dilihat secara langsung pada hasil SEM berupa *Scanning Elektron Micrograp* yang menyajikan bentuk 3 dimensi berupa gambar atau foto. Mikroskop digunakan untuk mempelajari struktur permukaan obyek, yang secara umum diperbesar diantara (1.000 sampai dengan 40.000) kali.

Mekanisme kerja SEM adalah sebagai berikut: bedil elektron (*electron gun*) akan memamcarkan berkas elektron yang kemudian difokuskan oleh lensa elektromagnet ke arah culikan.Berkas elektron kemudian berinteraksi dengan cuplikan yang menghasilkan elektron sekunder dan karakteristik sinar-X. Dengan mengatur tegangan pemercepat pada tabung SEM , maka dapat dipilih resolusi yang diinginkan. Sedangkan pemayaran (*scanning*) pada daerah-daerah cuplikan yang dikehendaki dapat dilakukan dengan mengatur pembangkit payar (*scanning generator*) dan kumparan payar (*scanning coils*).

SEM menggunakan hamburan balik elektron-elektron (dengan E= 30 keV) yang merupakan energi datang dan elektron-elektron sekunder (dengan E= 100 keV) yang dipantulkan dari benda uji. Karena elektron mempunyai energi yang rendah , maka elektro-elektron tersebut dapat dibelokkan membentuk sudut dan menimbulkan bayangan topografi di tampilan monitor (RT) serta dapat dicetak menjadi foto.

7.2.3 SEM dilengkapi dengan ED-X

Teknik ED-X (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) digunakan untuk mengetahui kandungan dari berbagai unsur kimia material semikonduktor. Sistem analisis ED-X bekerja sebagai fitur yang terintegrasi dengan SEM dan tidak dapat bekerja tanpa adanya *Scanning Elektron Microscopy* (SEM). Apabila Teknik ED-X dan SEM digabungkan menjadi satu, maka dapat digunakan untuk mengidentifikasi unsur-unsur yang dimiliki oleh fasa yang terlihat pada struktur mikro. Prinsip kerja dari ED-X yaitu dengan menangkap dan mengolah sinyal flourensensi sinar-x yang keluar apabila berkas elektron mengenai daerah tertentu pada bahan (*specimen*). Sinar-x tersebut dapat dideteksi dengan detektor zat padat yang dapat menghasilkan pulsa intensitas sebanding dengan panjang gelombang sinar-x.

Struktur material dapat diketahui dengan cara melihat interaksi yang terjadi, jika *specimen* padat dikenai berkas elektron. Berkas elektron yang jatuh sebagian akan dihamburkan dan sebagian akan diserap menembus *specimen*. Bila *specimen* cukup tipis, sebagian besar ditransmisikan, beberapa elektron akan dihamburkan secara tidak elastis. Interaksi dengan atom dalam specimen akan menghasilkan pelepasan elektron energi rendah, foton sinar-X dsn elektron *auger*, yang semuanya dapat digunakan untuk karakterisasi material. Gambar 4.9 menunjukkan elektron-elektron apabila mengenai *specimen*.

Interaksi antara elektron dengan atom pada sampel menghasilkan pelepasan elektron

berenergi rendah, foton sinar-X dan elektron *auger*, yang kesemuanya bisa digunakan untuk mengkarakterisasi material. (Smallman, 1999). Elektron sekunder adalah elektron yang dipancarkan dari permukaan kulit dari atom terluar yang dihasilkan oleh interaksi berkas elektron jatuh dengan padatan, sehingga mengakibatkan terjadinya loncatan elektron yang terikat lemah dari pita konduksi. Elektron *auger* merupakan elektron dari kulit orbit terluar yang dikeluarkan atom ketika elektron tersebut menyerap energi yang dilepaskan oleh elektron lain yang jatuh ke tingkat energi yang lebih rendah.

Apabila berkas elektron mengenai pada sampel padat, maka sebagian berkas yang jatuh tersebut akan dihamburkan kembali dan sebagian lagi akan menembus sampel. Untuk sampel yang tipis maka sebagian besar elektron akan diteruskan, beberapa elektron akan dihamburkan secara elastis tanpa kehilangan energi dan sebagian lagi akan dihamburkan secara tak elastis.Teknik ini juga dapat dimanfaatkan untuk mengamati unsur-unsur pada daerah kecil permukaan bahan secara kualitatif dan semi kuantitatif. Hal ini karena masing-masing unsur menyebar pada panjang gelombang spesifik.

Untuk mengenali jenis atom dipermukaan yang mengandung multi atom peneliti lebih banyak mengunakan teknik ED-X. ED-X dihasilkan dari karakteristik Sinar-X, yaitu dengan menembakkan sinar-X pada posisi yang ingin diketahui komposisinya. Setelah ditembakkan pada posisi yang diinginkan maka akan muncul puncak-puncak tertentu yang mewakili unsur yang terkandung. Dengan ED-X dapat dibuat *elemental mapping* (pemetaan elemen) dengan memberikan warna berbeda dari masing-masing elemen di permukaan bahan. EDS bisa digunakan untuk menganalisa secara kunatitatif dari persentase masing-masing elemen. ED-X dilengkapi dengan detektor dispersi energi sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel yang dianalisis.

Tujuan menggunakan SEM-EDX adalah untuk mengetahui kegradulaan struktur mikro dan komposisi unsur. Aplikasi penggunaan SEM-EDX dirangkum sebagai berikut:

1). Topografi: menganalisa permukaan dan teksture (kekerasan, reflektivitas dsb)

2). Morfologi: menganalisa bentuk dan ukuran dari benda sampel

3). Komposisi: menganalisa komposisi permukaan benda secara kuantitatif dan kualitatif.

Sedangkan kelemahan teknik menggunakan SEM antara lain:

a. Memerlukan kondisi vakum dan ukuran sampel besar.

b. Hanya menganalisa permukaan dan sangat tergantung pada software.

c. Resolusi lebih rendah dari TEM (*Transmission Electron Microscopy*).

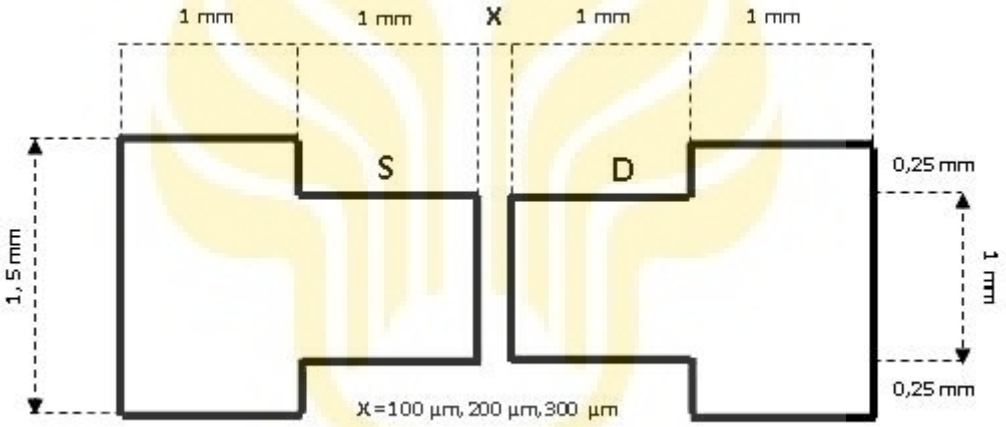
d. Sampel harus bahan konduktif, jika tidak konduktif perlu dilapis logam, seperti emas.

e. Terbatas pada hubungan linier.

7.3 Pembuatan OFET

Proses pembuatan OFET berbasis film tipis, jarak antara elektroda drain (D) ke source (S) didefinisikan L dan lebar dari masing-masing *drain* atau *source* adalah W. Tahapan pada pembuatan OFET, sebagai berikut: proses permulaan dilakukan pencucian substrat Si/ SiO_2 dengan menggunakan *etanol* dalam *ultrasonic cleaner*, selanjutnya dilakukan pendeposisian elektroda S dan D di atas lapisan SiO_2 menggunakan bahan emas (Au) dengan teknik *lithography*.

Proses *lithography* pada pembuatan divais merupakan bagian yang sangat penting, dimana geometri ditentukan pada permukaan *wafer*. Proses *lithography* diawali dengan merencanakan masker (Gambar 7.2) untuk menentukan geometri OFET yang akan dibuat. Pembuatan divais dilakukan berulang kali proses *lithography* seperti dalam langkah proses pembukaan gerbang untuk difusi dan oksidasi. Penelitian ini bertujuan membuat OFET berbasis film tipis CuPc dengan struktur *bottom contact* untuk mendeteksi gas beracun.



Gambar 7.2: Masker pada proses pembuatan OFET

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

7.4 Karakterisasi OFET

Metode dalam melakukan karakterisasi OFET berbasis film tipis CuPc dengan struktur *bottom contact* sebagai berikut:

a) Karakteristik OFET
   Karakterisasi OFET berbasis film tipis CuPc dilakukan dengan cara sebagai berikut: elektroda pada *source* (S) dihubungkan ke *grounded*, sedangkan elektroda dari *gate* (G) dan *drain* (D) masing-masing dihubungkan panjar mundur. Untuk menentukan grafik karakteristik keluaran OFET, maka dilakukan pengukuran arus (I_D) yang berasal dari *source* ke *drain* (I_D) dengan variasi tegangan *drain* (V_D) untuk setiap nilai tegangan *gate* (V_G).

b) Untuk menentukan mobilitas pembawa muatan dari OFET berbasis film tipis diperlukan data sebagai berikut: I_{DS}, V_{DS}, V_T, C_i, V_{GS}, L dan W. Setelah data dari hasil eksperimen lengkap, maka digunakan persamaan (3.4) untuk menentukan mobilitas pembawa muatan OFET.

c) Menentukan arus dan tegangan pada OFET
Untuk mengukur besarnya *I-V* pada OFET menggunakan *I-V* Meter El Kahfi 100, adapun fiturnya sebagai berikut:

- Mampu mengukur kuat arus mulai dari 100 pA sampai 14 mA
- Sumber tegangan sampai 9,6 V dengan step tegangan minimal 10 mV
- Pengukuran langsung menggunakan PC melalui serial port RS232
- Layar LCD 16 x dan 5 buah tombol menu.
- Grafik hasil eksperimen dapat langsung diamati pada PC.

7.5 Uji Kinerja OFET Sebagai Sensor Gas

Pengujian kinerja OFET berbasis film tipis yang diaplikasikan untuk sensor gas, meliputi: waktu tanggap dan waktu pemulihan. Adapun cara pengujiannya sensor gas , sebagai berikut: sensor gas ditempatkan dalam *glass chamber* dan ditutup dengan metalik dilindungi pernis untuk menghindari kebocoran gas. Gas uji yang mempunyai volume tertentu dimasukan ke dalam *glass chamber*, selanjutnya dilakukan pengukuran I_{DS} dan V_{DS} dengan interval waktu tertentu.

Metode pengujian dari kinerja OFET berbasis film tipis CuPc yang diaplikasikan untuk sensor gas beracun sebagai berikut:

1. OFET berbasis film tipis sebagai sensor gas yang akan diuji kinerjanya dimasukkan ke dalam tabung (*chamber*).
2. Udara dalam tabung dikeluarkan dengan cara mengalirkan gas N_2, hingga arus I_{DS} stabil pada nilai tertentu.
3. Gas uji dialirkan dalam tabung dengan kecepatan dan tekanan tertentu serta diamati setiap 15 detik, hingga mencapai arus stabil.
4. Gas uji dialirkan dari tabung dengan cara mengalirkan gas N_2 dan diamati perubahan arusnya I_{DS}untuk setiap 15 detik.
5. Langkah 1 sampai dengan 4 diulang untuk OFET berbasis film tipis dengan panjang *channel* yang berbeda: 100 μm, 200 μm dan 300 μm.

7.5.1 Sensitivitas

Sensitivitas sensor merupakan ukuran seberapa sensor dapat mengenali gas yang dideteksinya. Sensor gas yang baik adalah sensor gas yang mampu mendeteksi gas, meskipun jumlah zat sedikit dibandingkan dengan jumlah gas disekelilingnya. Pada umumnya nilai resistansi yang dihasilkan ditentukan oleh jenis material sensor. Material tipe-p, nilai resistansi bertambah besar ketika bereaksi dengan gas pereduksi, ketika sensor bereaksi dengan gas pengoksidasi resistansi akan berkurang. Hal ini berlaku juga sebaliknya untuk material tipe-n.

Rumus untuk menghitung sensitivitas sensor gas, sebagai berikut:

- Untuk material sensor tipe-p dan gas berupa oksidator:

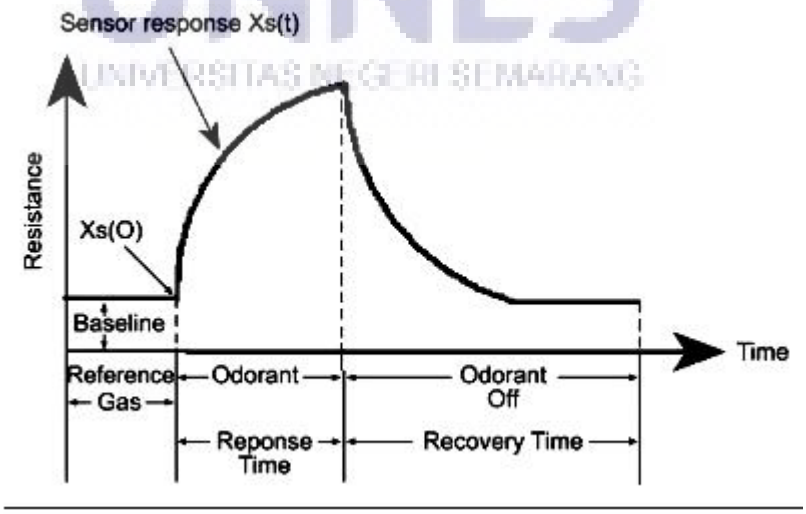
$$S_g = \frac{\Delta R}{R_o} = \frac{R_o - R_g}{R_o} \tag{7.1}$$

- Untuk material sensor tipe-n dan gas berupa pereduksi:

$$S_g = \frac{R_o}{\Delta R} = \frac{R_o}{R_o - R_g} \tag{7.2}$$

7.5.2 Waktu tanggap dan waktu pemulihan

Waktu tangga (*response time*) adalah suatu kemampuan sensor gas untuk mengenali gas yang dideteksinya, sedangkan waktu pemulihan (*recovery time*) sensor gas adalah waktu yang dibutuhkan sensor untuk kembali pada posisi normalnya. Waktu Tanggap t_{80} didefinisikan sebagai waktu untuk mencapai 80% dari arus maksimum dan waktu pemulihan t_{80} didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan untuk melepaskan dari 80 % arus pada keadaan maksimum (Liu dkk, 1996).



Gambar 7.3: Respon sensor *E-nose* untuk bau (Arshak, K. et al, 2004)

Respon dari sensor e-nose untuk aroma (bau) pada umumnya dianggap sebagai respon waktu orde pertama. Analisis aroma dari sensor pada tahap awal merupakan ekspose aroma referensi (acuan) pada sensor untuk memperoleh data dasar. Sensor terekspose aroma (bau) akan menyebabkan perubahan dalam sinyal *output* sensor hingga mencapai *steady state*. Bau yang mengenai sensor, akhirnya terlepas keluar dari sensor dengan menggunakan gas referensi, maka sensor tersebut kembali ke data dasar yang ditunjukkan pada Gambar 6.3. Waktu selama sensor terkena bau disebut sebagai waktu respon *(response time*) sementara waktu dibutuhkan sensor untuk kembali ke resistansi awal yang disebut waktu pulih (*recovery time*).

Bahan sensor gas memiliki kecenderungan waktu tanggap yang berbeda terhadap beberapa macam gas uji, tergantung dari sifat reversibilitas reaksi permukaan. Variabel yang menentukan tingkat reversibilitas adalah suhu permukaan semikonduktor oksida logam, konsentrasi dan macam gas yang teradsorbsi.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Bab 8

HASIL DEPOSISI DAN KARAKTERISASI FILM TIPIS

Dalam buku ini dipaparkan hasil deposisin film tipis CuPc dengan metode vakum evaporasi pada suhu ruang berserta karakterisasinya menggunakan X-RD dan SEM. Karakteristik film tipis CuPc telah dianalisis didasarkan pada struktur mikro dengan *X-Ray Diffraction* (X-RD) dan *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 dari SEM. Karakterisasi film tipis dilakukan untuk mendapatkan bahan aktif yang optimum. Ada 2 macam karakterisasi film tipis, yakni: pengujian morfologi menggunakan SEM dan struktur kristalnya dengan X-RD. Dipaparkan juga langkah-langkah deposisi film tipis CuPc dengan parameter deposisi yang diterapkan pada alat evaporasi.

8.1 Metode deposisi Film Tipis

Hasil deposisi film tipis yang dijelaskan dalam buku ini adalah deposisi bahan CuPc berbentuk serbuk dan berwarna biru. Selanjutnya dilakukan deposisi film tipis dengan prosedur sebagai beikut:

a) Preparasi sampel

- Pemotongan kaca preparat berukuran (1,5 x 2,5) cm^2.
- Kaca preparat terlebih dahulu dicuci menggunakan alat *Ultrasonic Cleaner Model Core-Parmer* dengan tahapan, sebagai berikut: kaca preparat dicuci dengan etanol (96%) selama 1 jam, kemudian dicuci dengan menggunakan aceton (>99%) selama 1 jam. Selanjutnya dilakukan pencucian dengan deterjen dan etanol (96%) selama 1 jam. Sebelum dimasukan ke dalam alat evaporasi, kaca preparat dicuci dengan etanol (96%) yang mendidih.

b) Proses deposisi film tipis CuPc

Deposisi film tipis CuPc diatas substrat SiO_2 dilakukan dengan metode penguapan hampa udara (Model JEOL JEE-4X) pada kehampaan tinggi sekitar (8 x10^{-4}) Pa. Pada alat *vacuum evaporator* (VE), terdapat beberapa parameter yang dapat mempengaruhi karakteristik film tipis, yaitu: tekanan, arus, waktu pada saat deposisi, massa dari material CuPc yang akan dideposisikan. Dalam penelitian ini, akan dilakukan dengan menggunakan parameter arus pada alat *vacuum evaporator* untuk memperoleh variasi laju deposisi/ morfologi film tipis CuPc.

c) Metode deposisi film tipis yang dilakukan dengan membuat variasi arus (35 A, 40 A, 45 A dan 50 A) pada alat vakum evaporasi, tahapan adalah sebagai berikut:

- CuPc yang massanya (200 mg) dimasukan ke dalam *boat* dan ditimbang dengan neraca Ohaus.
- Selanjutnya sampel dimasukan ke dalam *bell-jar* (ruang evaporasi).
- Substrat yang telah dibersihkan, kemudian dipasang pada *holder* tepat di atas *boat* yang berisi CuPc.
- Pada alat *vacuum evaporator*(VE) untuk deposisi film tipis divakumkan, sehingga tekanannya turun menjadi 8.10^{-4} Pa.
- Eksperimen awal, melakukan deposisi film tipis dengan metode *vacuum evaporator* selama 30 menit dengan menerapkan arus pada alat VE sebesar 35 A.
- Sampel yang sudah terdeposisi disimpan dalam wadah kaca yang vakum.
- Proses deposisi film tipis CuPc yang telah dilakukan diulangi lagi dengan variasi arus, yaitu: 40 A, 45 A dan 50 A.

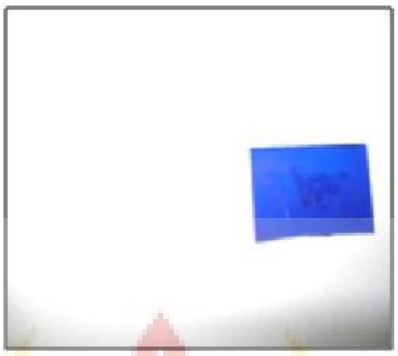
UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

8.2 Hasil Deposisi Film Tipis CuPc

Deposisi film tipis dengan teknik VE (*vacuum evaporator*) dengan alat evaporasi *(Model JEOL JEE-4X)* pada kehampaan tinggi sekitar (8 x 10^{-4}) Pa dilakukan pada suhu ruang. Proses evaporasi dilakukan dengan variasi arus pada alat vakum evaporasi, yaitu : 35A, 40A, 45A dan 50A memerlukan waktu selama 30 menit (Sujarwata, 2009).

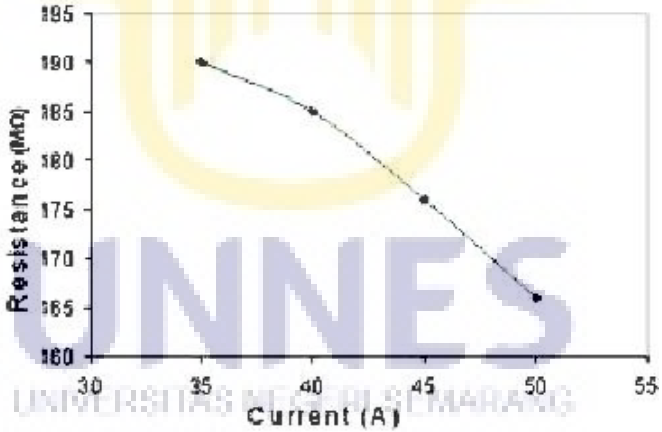
Gambar 8.1 memperlihatkan salah satu sampel (dari 8 sampel hasil deposisi yang telah dilakukan oleh penulis) hasil deposisi diatas substrat dengan ukuran (1,5 x 2,5) cm^2. Struktur kristal merupakan parameter untuk mempelajari karakterisasi bahan, terutama berkaitan dengan sifat listrik. Film yang akan dimanfaatkan untuk divais, maka harus dikarakterisasi untuk mengetahui kualitas film. Apabila hasil karakterisasi film tipis CuPc

mempunyai kualitas struktur kristal yang baik, maka dapat dimanfaatkan untuk aplikasi divais. Akan tetapi , apabila hasil deposisi film tipis CuPc menunjukkan struktur kristal yang sangat buruk, maka harus dilakukan deposisi ulang dengan memperhatikan, antara lain: preparasi, prosedur deposisi, instrumen yang digunakan dan parameter deposisi.



Gambar 8.1: Hasil deposisi film tipis CuPc diatas susbrat

Resistansi film tipis CuPc dipengaruhi oleh kuat arus yang diterapkan pada alat vakum evaporasi (VE), hal ini menunjukkan bahwa kecepatan deposisi film tipis CuPc menentukan besarnya resistansi. Penelitian ini telah melakukan karakteristik elektrik terhadap kecepatan deposisi, sebagaimana ditunjukkan pada (Gambar 8.2).



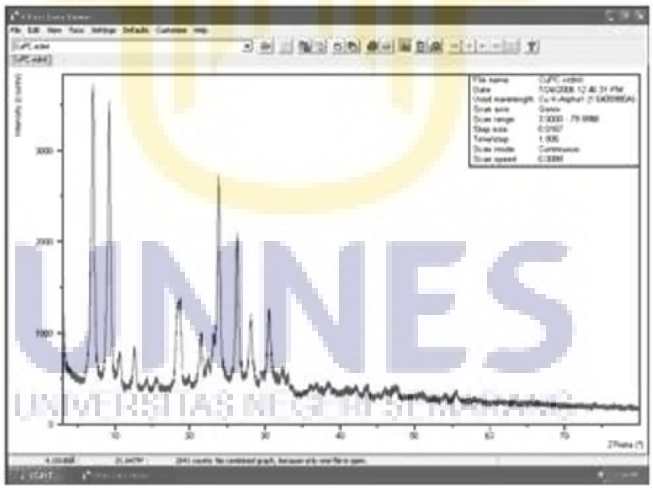
Gambar 8.2: Pengaruh resistansi film tipis terhadap arus

8.3 Pengujian Struktur Kristal dengan X-RD

Spektrum XRD serbuk material semikonduktor CuPc ditunjukkan (Gambar 8.3), terlihat jelas adanya struktur kristal. Hasil pengujian kristal film tipis CuPc dengan X-RD merupakan gambar struktur permukaan sampel yang diuji dengan karakeristik gambar 3 dimensi (3-D) dan grafik spektrum.

Tabel 8.1: Puncak difraksi X-RD dari serbuk dan film tipis CuPc

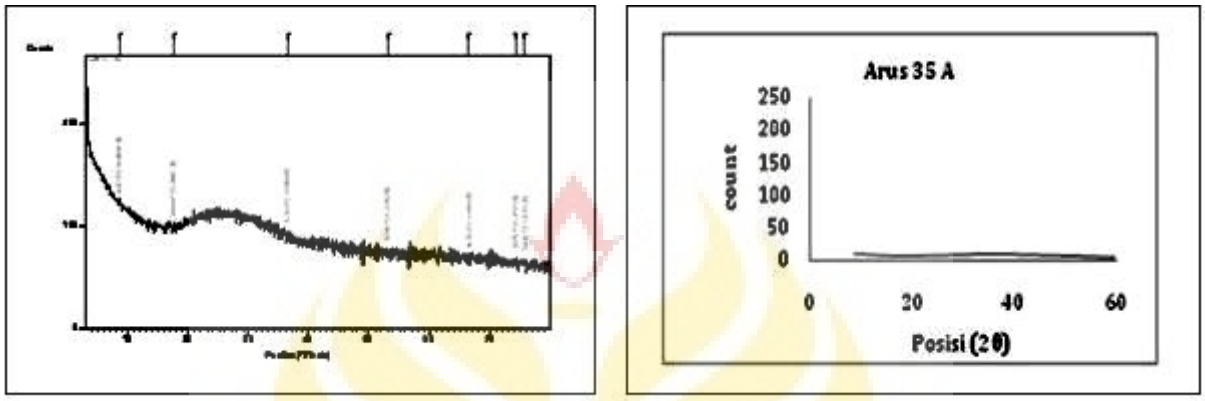
Arus (amper)	2 $\theta(^o)$	Tinggi (*count*)	Nilai FWHM (^{o})	D($\dot{A}$)	Gambar
	7,0961	2077,02	0,3080	12,45	5.3
	23,8164	1547,06	0,3080	3,73	
	26,2519	1139,04	0,3080	3,39	
	28,0725	536,12	0,3080	3,18	
	30,4640	608,44	0,3080	2,93	
35	-	-	-	-	5.4
40	6,8762	13,88	0,6528	12,84	5.5
	23,6716	100,12	0,4896	3,76	
	24,9316	68,38	0,4896	3,57	
	26,6752	52,86	0,4896	3,34	
	27,4005	39,42	0,2856	3,25	
45	6,7757	42,37	0,6160	13,04	5.6
	24,0217	222,97	0,4488	3,70	
	25,0321	94,54	0,3264	3,55	
	26,6408	103,91	0,3264	3,34	
	27,5530	86,96	0,2448	3,23	
50	6,8306	39,22	0,2448	12,93	5.7
	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	



Gambar 8.3: Spektrum XRD dari Serbuk CuPc

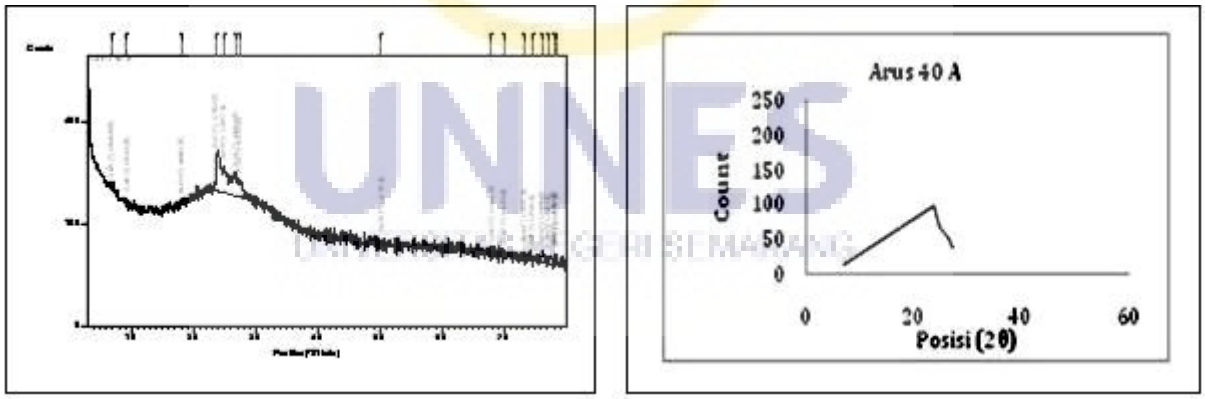
Tabel 8.1 merupakan hasil deposisi film tipis CuPc menunjukkan adanya satu puncak pada sudut 2 θ 6,78^o- 6,87^o (D= 12,84-13,04) $\dot{A}$. Jarak inter planar adalah jarak antar atom Cu. Puncak spektrum XRD teramati, 2 θ = 23,67^o- 27,58^o (D = 3,23-3,76)$\dot{A}$. Jarak ini sesuai dengan jarak antara (*phythalocyanine macrocycles*) dalam *phase* α atau β= 3,4 $\dot{A}$. Pada gambar 5.4 memperlihatkan bahwa puncak spektrum *X-Ray Diffraction* (X-RD)

tidak terlihat tampak pada penerapan arus 35 A pada saat dilakukan deposisi film tipis, sehingga film tipis mempunyai struktur *amorf*. Ketika arus ditingkatkan menjadi 40A, 45 A dan 50 A terlihat adanya puncak dominan berkaitan dengan bidang kristal. Padatan digolongkan dalam dua golongan, padatan kristalin yang partikel penyusunnya tersusun teratur, dan padatan *amorf* yang partikel penyusunnya tidak memiliki keteraturan yang sempurna. Studi bahan kristalin mempunyai sejarah yang jauh lebih panjang karena kristal lebih mudah dipelajari dari pada bahan *amorf*.



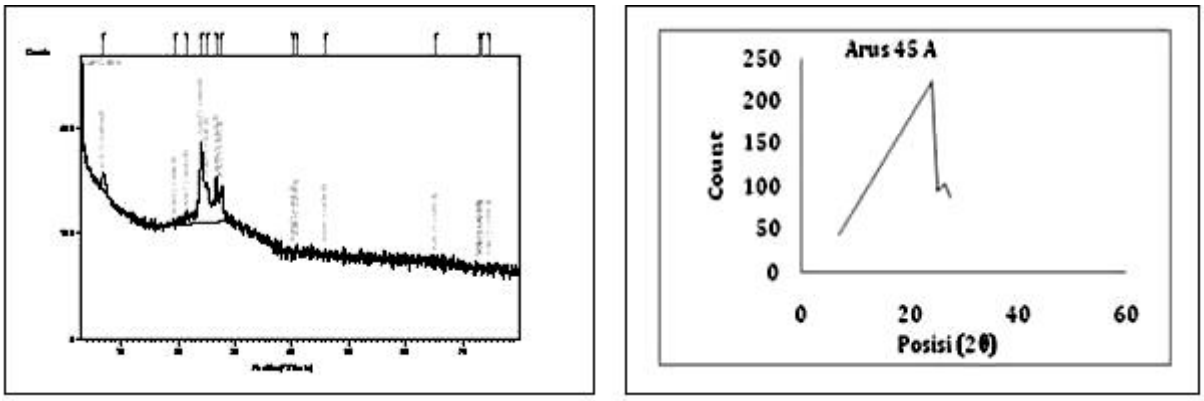
Gambar 8.4: Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 35 A

Pada gambar 8.4, puncak spektrum XRD tidak tampak pada penerapan arus 35 A pada alat VE saat dilakukan proses deposisi, sehingga film tipis CuPc mempunyai struktur amorf. Ketika kuat arus ditingkatkan menjadi 40A, 45 A dan 50 A tampak puncak dominan yang berkaitan dengan bidang kristal.



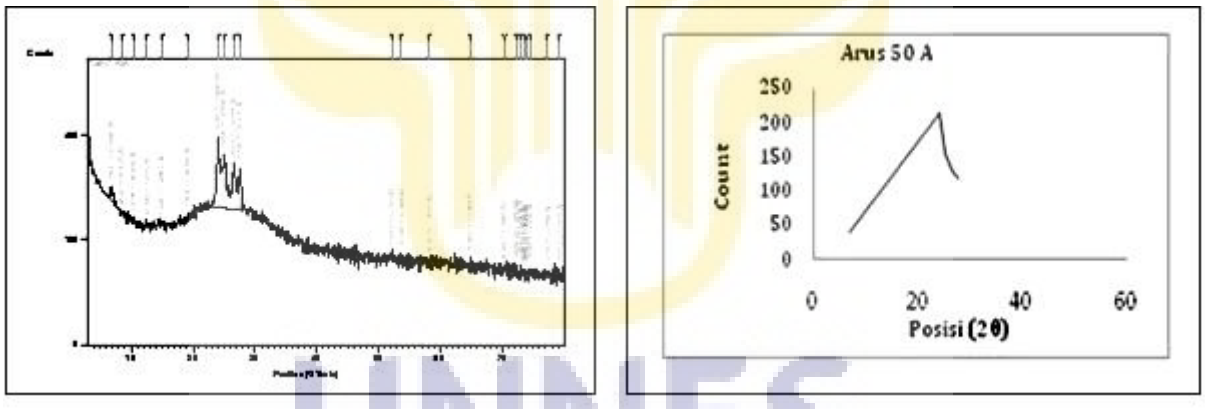
Gambar 8.5: Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 40 A

Pada gambar 8.5 menunjukkan hasil analisis puncak spektrum XRD sudah terlihat dengan penerapan arus 40 A pada alat vakum evaporasi saat proses deposisi dilakukan, sehingga film tipis CuPc dari hasil deposisi sudah terbentuk adanya struktur kristal. Hasil eksperimen deposisi film tipis CuPc dengan penerapan arus 40 A pada alat vakum evaporasi saat deposisi, diperoleh bahwa pada posisi 2θ mempunyai ketinggian puncak spektrum adalah 100,12 (*count*).



Gambar 8.6: Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 45 A

Gambar 8.6 menunjukkan puncak spektrum XRD paling tinggi dengan penerapan arus 45 A sehingga film tipis hasil deposisi sudah terbentuk adanya kristal. Hasil deposisi film tipis dengan arus 45 A diperoleh bahwa pada posisi 2θ mempunyai ketinggian puncak 222,97 (*count*). Berdasarkan eksperimen film tipis yang dideposisikan dengan arus 45 A adalah film tipis optimum pertama. Hasil pengukuran bahan elektrik didapatkan bahwa resistansi film tipis CuPc akan berkurang dengan peningkatan kecepatan deposisi.



Gambar 8.7: Spektrum X-RD dan puncak spektrum untuk variabel arus 50 A

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Pada Gambar 8.7 menunjukkan puncak dari spektrum XRD terlihat dengan penerapan arus 50 A dan pada film tipis CuPc sudah terbentuk adanya kristal. Hasil deposisi film tipis CuPc dengan penerapan arus 50 A diperoleh bahwa posisi 2θ mempunyai puncak spektrum 212,68 (*count*).

Hasil dari analisis X-RD menunjukkan bahwa deposisi dengan penerapan arus 45 A mempunyai puncak spektrum yang lebih tinggi dari pada penerapan arus 50 A. Hal ini dapat dikatakan bahwa penambahan arus lebih tinggi dari 45 A kurang efektif karena puncak spektrum lebih rendah. Penerapan arus 45 A menghasilkan film tipis optimum, sehingga dapat diaplikasikan pada pembuatan divais yang paling baik. Berdasarkan hasil analisis spektrum X-RD dapat dimanfaatkan untuk proses pembuatan divais sesaui dengan yang kita butuhkan.

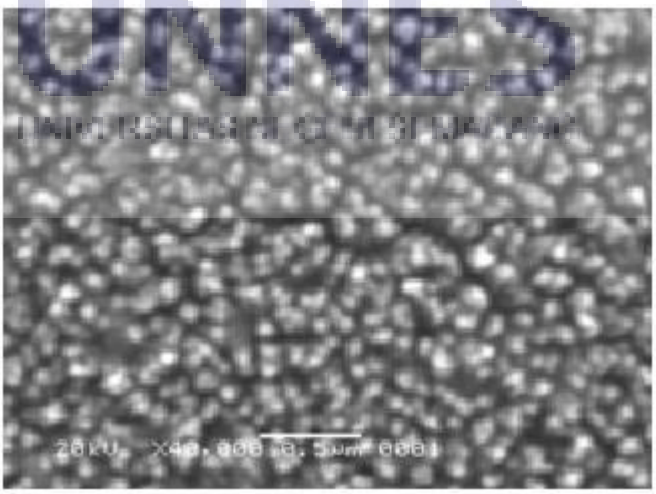
Kualitas kristal film tipis dapat diketahui dari besarnya FWHM (*Full Width at Half Maximum*) puncak bidang difraksi. FWHM menyatakan tingkat *strain* film , semakin sempit FWHM, maka *strain* yang terbentuk semakin kecil. Berdasarkan spektrum XRD dapat dipelajari kualitas kristal film dengan cara menghitung FWHM, seperti ditunjukkan Tabel 8.2. Besarnya FWHM puncak XRD terlihat menurun seiring bertambahnya arus pada VE. Hasil XRD dapat ditentukan juga FWHM film tipis CuPc Hal ini menunjukkan bahwa kualitas kristal semakin membaik dengan penambahan kuat arus.

Tabel 8.2: Kuat arus sebagai parameter deposisi film tipis CuPc

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

8.4 Hasil SEM dengan Variasi Arus

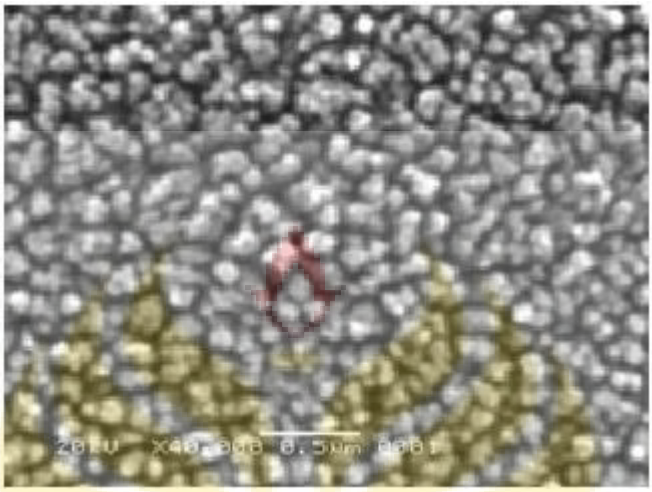
Hasil karakterisasi morfologi film tipis CuPc menggunakan SEM dengan variasi arus saat deposisi dapat diamati pada (Gambar 8.8, Gambar 8.9 dan Gambar 8.10). Gambar 8.8 memperlihatkan bahwa morfologi film tipis CuPc yang dideposisikan dengan aplikasi arus 40 A pada alat vakum evaporasi (VE) mempunyai ukuran butiran kecil dan permukaan film tipis masih terlihat banyak porositas pada permukaan. Porositas film tipis CuPc disebabkan tidak menempelnya ikatan yang terbentuk.



Gambar 8.8: Hasil Morfologi SEM dengan Arus 40 A

Gambar 8.9 memperlihatkan hasil karakterisasi menggunakan SEM untuk penerapan arus 45 A saat deposisi film tipis CuPc. Dari gambar terlihat butiran-butiran yang su-

dah mulai rapat dan mempunyai ukuran lebih besar serta sebagian permukaan film tipis ada yang berbentuk butiran-butiran kecil. Butiran-butiran yang lebih besar menunjukkan bahwa butiran-butiran kecil telah menyatu dan membentuk kristal yang lebih baik. Gambar 7.10 memperlihatkan hasil SEM film tipis dengan penerapan arus 50 A saat deposisi. Ukuran butiran terlihat semakin homogen dan merata seluruh permukaan. Butiran yang semula kecil telah menyatu membentuk ukuran butiran yang lebih besar.

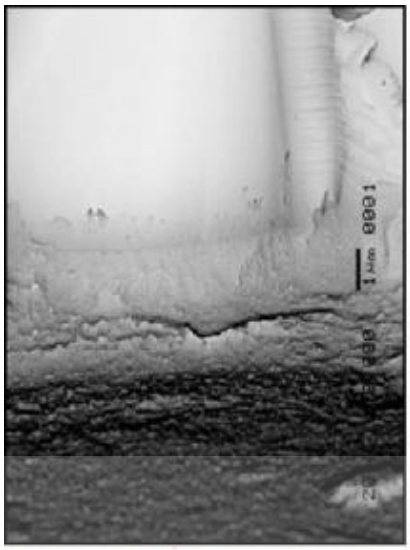


Gambar 8.9: Hasil Morfologi SEM dengan Arus 45 A

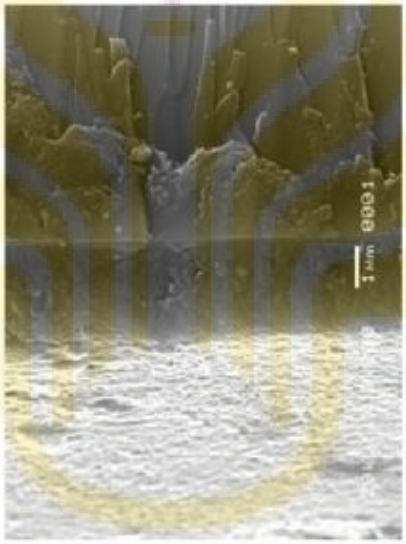
Gambar 8.10: Hasil Morfologi SEM dengan Arus 50 A

8.5 Hasil SEM Penampang Melintang

Karakterisasi morfologi dari hasil deposisi (penumbuhan) film tipis CuPc menggunakan SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada penampang melintang sebagaimana ditunjukkan pada (Gambar 8.11), (Gambar 8.12) dan (Gambar 8.13) . Deposisi film tipis CuPc (*Copper Phthalocyanine*) dilakukan dengan variasi kuat arus, yaitu: 40 A, 45 A dan 50 A pada alat vakum evaporosi (VE).



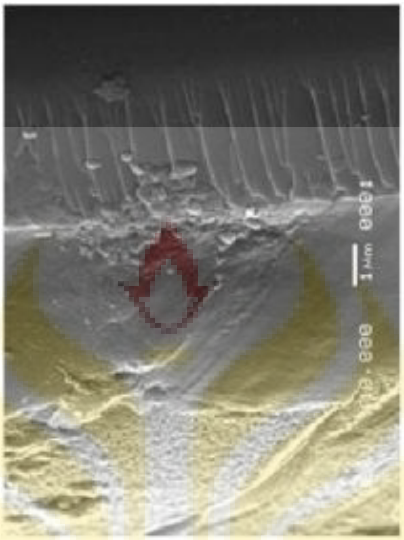
Gambar 8.11: Hasil Morfologi SEM Penampang Melintang dengan Arus 40 A



Gambar 8.12: Hasil Morfologi SEM Penampang Melintangdengan Arus 45 A

SEM (*Scanning Electron Microscopy*) adalah salah satu dari jenis *mikroscop electron* yang menggunakan suatu berkas *electron* untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material/ bahan yang akan dianalisis. Prinsip kerja SEM adalah menggambarkan suatu permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energi tinggi. Permukaan material/bahan yang disinari akan memantulkan kembali berkas elektron atau dinamakan berkas elektron sekunder ke segala arah. Semua berkas elektron yang dipantulkan terdapat satu berkas elektron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detektor yang terdapat di dalam SEM akan mendeteksi berkas elektron berintensitas tertinggi yang dipantulkan oleh material/bahan yang dianalisis. Ketika dilakukan pengamatan terhadap material atau bahan, lokasi permukaan benda yang ditembak dengan adanya berkas elektron yang berintensitas tertinggi di-scan keseluruh permukaan material pengamatan.

Analisis karakterisasi dari SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada permukaan penampang melintang untuk menentukan ketebalan film tipis CuPc (*Copper Phthalocyanine*) sebagai hasil deposisi dan menghitung laju deposisi. Gambar 8.11, Gambar 8.12 dan Gambar 8.13 menunjukkan penampang melintang film tipis CuPc yang dideposisikan dengan teknik vakum evaporasi dan variasi arus, yaitu: 40 A, 45 A dan 50 A. Film tipis CuPc hasil deposisi mempunyai ketebalan, berturut-turut: 2,1 μm, 2,4 μm dan 4,8 μm.



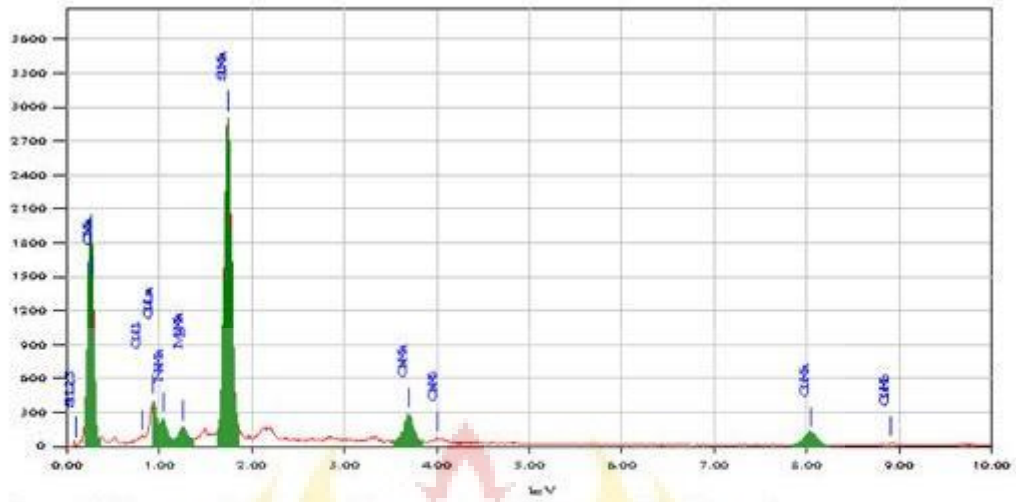
Gambar 8.13: Hasil Morfologi SEM Penampang Melintang dengan Arus 50 A

8.6 Hasil Analisis SEM E-DX

Analisis SEM E-DX berupa struktur gambar permukaan dari sampel dengan karakeristik gambar 3-D dan grafik spektrum. Gambar 8.14 menunjukkan hubungan antara energi (keV) pada sumbu horizontal dan cacahan sumbu vertikal. Dari Gambar 8.14 sebagai hasil scanning elemental E-DX dapat diketahui unsur-unsur yang terkandung di dalam sampel. Keberadaan unsur-unsur mineral dapat ditentukan berdasarkan nilai dari energi hasil penembakan sinar elektron primer sampel. SEM yang dilengkapi dengan detektor dispersi energi (EDX) sehingga dapat digunakan untuk mengetahui komposisi elemen-elemen pada sampel yang dianalisis.

Untuk mengetahui unsur dan senyawa CuPc, pengamatan SEM dilanjutkan dengan analisis E-DX. Pengujian aspek kuantitatif dilakukan terhadap citra SEM dengan perbesaran 3000 kali dan diperoleh Gambar 8.14 dan Tabel 8.3. Grafik di atas tampak unsur yang dominan adalah C, Si dan Cu dan S, sedangkan Na, Mg dan Ca kurang dominan. Hasil SEM EDX berupa struktur gambar permukaan sampel dengan karakeristik gambar 3 dimensi (3-D) dan grafik spektrum. Grafik (Gambar 5.14) tersebut di atas menunjukkan hubungan antara energi (keV) pada sumbu horisontal dan cacahan pada sumbu vertikal. Dengan grafik ini (Gambar 8.14) dapat diketahui unsur-unsur atau mineral yang terkan-

dung di dalam sampel. Keberadaan unsur-unsur mineral dapat ditentukan berdasarkan nilai dari energi hasil penembakan sinar elektron primer pada sampel.



Element	(keV)	mass%	Error%	At%	Compound	mass%	Cation	K
C K	0.277	64.87	0.71	84.07			29.1303	
Na K	1.041	1.96	0.66	1.33			3.2777	
Mg K	1.253	1.05	0.52	0.67			1.4419	
Si K	1.739	17.90	0.40	9.92			35.3134	
Ca K	3.690	3.67	0.78	1.42			9.3529	
Cu K	8.040	10.56	3.55	2.59			21.4838	
Total		100.00		100.00				

Gambar 8.14: Hasil scanning elemental E-DX

Tabel 8.3: Kandungan unsur CuPc dari SEM EDX

Kandungan unsur dalam CuPc	Energi dalam (keV)	Perbandingan massa dalam (%)
C	0,277	64,87
Na	1,041	1,96
Mg	1,253	1,05
Si	1,739	17,90
Ca	3,690	3,67
Cu	8.040	10,56
		Jumlah =100

Untuk mengetahui kandungan unsur-unsur dan senyawa material semikonduktor CuPc, pengamatan SEM dilanjutkan dengan analisis *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (EDX). Hasilnya disarikan pada Tabel 5.3. Grafik dengan unsur yang dominan adalah C, Si dan Cu dan S, sedangkan Na, Mg dan Ca kurang dominan.

Berdasarkan karakterisasi E-DX didapatkan data seperti diperlihatkan pada Gambar 8.14. Berdasarkan Gambar 8.14 terlihat besarnya jumlah persen berat (wt%) unsur penyusun dalam film tipis CuPc adalah karbon 64,87 %, natrium 1,96 %, magnesium 1,05 %, silikon 17,90 %, kalsium 3,67 %, cuprum 10,56 %. Deposisi film tipis CuPc telah berhasil dilakukan terbukti dengan adanya kandungan unsur karbon, kuprum pada film tipis. Kandungan unsur karbon lebih tinggi dibandingkan unsur yang lain. Hal ini disebabkan konsentrasi larutan karbon yang digunakan cukup tinggi.

Lapisan tipis (film tipis) CuPc yang dideposisikan dengan alat evaporator (VE) pada suhu ruang. Dalam optimasi evaporator dilakukan variasi kuat arus pada alat vakum evaporasi (VE) pada saat dilakukan deposisi, yaitu 40 A, 45 A dan 50 A diharapkan dapat menghasilkan variasi ketebalan lapisan (film) tipis CuPc yang terbentuk pada substrat Si/ Si. Sedangkan massa CuPc yanga digunakan untuk deposisi adalah 200 mg. Dari hasi karakterisasi Foto SEM tampak penampang lintang lapisan menunjukan ketebalan lapisan yang terdeposisi pada subtrat Si/ SiO_2 dan dari pengukuran ketebalan diperoleh bahwa semakin besar kuat arus yang diaplikasikan pada evaporator pada saat deposisi semakin tebal lapisan yang terbentuk (Gambar 8.11, Gambar 8.12 dan Gambar 8.13).

Analisis Morfologi Permukaan Lapisan Tipis untuk mengetahui tingkat kerataan lapisan (film) tipis yang terbentuk maka dilakukan pemotretan dengan SEM. Dari (Gambar 8.8, Gambar 8.9 dan Gambar 8.10) terlihat morfologi permukaan lapisan rata dan homogen. Variasi kuat arus yang dilakukan pada saat deposisi mempengaruhi bentuk morfologi secara signifikan.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Bab 9

TEKNIK *LITHOGRAPHY* PROSES PEMBUATAN OFET

Lapisan silikon oksida (SiO2) merupakan masker pencegah masuknya ketidakmurnian kedalam bagian wafer yang tidak dikehendaki pada saat proses difusi. Dengan membuat pola tertentu pada lapisan oksida dapat dilakukan difusi, metalisasi, dan pelapisan polisilikon secara efektif Selain itu lapisan ini dipergunakan juga untuk menjaga agar silikon (Si) tidak dipengaruhi langsung dalam udara terbuka, dan dapat pula dipakai untuk mengisolasi silikon terhadap interkoneksi. Ada 2 cara penumbuhan/deposisi silikon oksida (SiO_2), yaitu dengan temperatur tinggi dan dengan temperatur rendah. Penumbuhan dengan temperatur rendah dilakukan dengan CVD (*Chemical Vapour Deposition*= pengendapan uap kimia).

Pada pembuatan rangkaian terinteoasi (IC), kecuali untuk hal-hal khusus. kebanakan lapisan oksida untuk masker pelindung difusi dibentuk dengan metode oksida panas, yaitu dengan jalan menaruh keping (wafer) silikon dalam oksigen kering atau campuran gas dan uap air dan oksigen (O_2 basah) dan dipanasi pada temperatur tinggi (900 - 1200) ^oC). Hubungan antar lapisan (layer) pada chip melalui lubang kontak juga dilakukan dengan melubangi lapisan SiO2 dilakukan melalui proses photolithography dan etsa. Pada penelitian ini disediakan wafer yang telah dibentuk pada lapisan oksida diatasnya melalui proses oksidasi.

Diatas lapisan SiO_2 pada wafer silikon, fotoresis (photoresist) dioleskan dengan cara spinning, digunakan untuk proses Etsa Foto (*photo etching*). Fotoresis ini merupakan bahan molekul tinggi yang coraknya dapat berubah-ubah bila mendapat pengaruh penyinaran cahaya. Fotoresis adalah merupakan komposisi kimia molekul tinggi yang mempunyai daya tahan terhadap pelarutan, daya lekat yang kuat, dan peka cahaya, yang digunakan untuk photo etching atau disebut juga fotolitografi (photolithography). Pertama, pada permukaan bahan yang akan diproses diolesi fotoresis dan dikeringkan. Lalu ditempelkan pola rangkaian yang telah digambar sesuai dengan yang diinginkan, dan disinari dengan sinar ultra violet. Bagian yang tersinari akan terbongkar (larut) oleh cairan pelarut resis

positif, dan dengan resis negatif tidak akan melarut. Setelah selesai, fotoresis yang tersisa dipadatkan dan dikeringkan. Dengan jalan seperti inilah fotoresis akan dihilangkan, setelah bahan uji dietsa dengan larutan kimia, pada lapisan fotoresis akan tercetak pola rangkaian. Akhir-akhir ini sebagai pengganti sinar ultra violet dapat dipakai juga berkas elektron atau berkas ion. atau sinar X.

Photolithography adalah proses pemindahan pola geometris pada masker ke lapisan tipis dari material yang peka terhadap radiasi (resis) yang menutupi permukaan wafer semikonduktor dengan metode penyinaran cahaya. Pola resis yang dibentuk oleh proses *photolithography* bukanlah elemen yang tetap dari devais akhir, tetapi hanya tiruan dari feature rangkaian. Proses *photolithography* dalam proses fabrikasi divais semikonduktor merupakan bagian yang penting dimana geometri divais ditentukan pada permukaan wafer silikon. Pembuatan divais semikonduktor terdiri atas berulang kali proses *photolithography* seperti dalam tahap proses pembukaan gerbang (gate) untuk difusi, oksidasi atau pasivasi atau metalisasi.

9.1 Masker untuk *photolithography*

Masker mengandung pola lapisan yang akan ditransferkan ke wafer untuk membentuk rangkaian. Tiap langkah proses memerlukan sebuah masker yang memuat pola tertentu yang dibuat oleh perancang. Perancang membuat pola rangkaian dan devais sesuai dengan fungsi IC yang diharapkan. Hasil perancangan mungkin merupakan program komputer, yaitu memakai CAD (*computer aided design*).

Oleh pandai silikon, program komputer itu mengatur penggambaran pola tiap masker sesuai dengan keperluan untuk proses pembuatan IC yang telah ditentukan oleh pandai silikon itu. Antara lain pentransferan pola ke tiap masker dilakukan dengan alat Pattern Generator vang mampu menggambar pada plate kaca masker dengan bantuan sinar yang bentuk dan ukurannya diatur oleh data komputer, menghasilkan pola kontras hitam putih pada masker yang berbentuk kaca tersebut. Sejumlah masker disiapkan dan selanjutnya dipergunakan dalam proses photolithography untuk merealisasikan chip yang dipesan oleh perancang. Untuk proses MOS diperlukan jumlah masker berkisar antara 9 - 12 buah bergantung pada proses yang ada di pandai silikon itu.

9.2 Tahapan proses *photolithography*

Proses *photolithography* dilakukan dengan menggunakan bahan photoresist. Photoresist merupakan jenis senyawa organik yang peka cahaya (umumnya cahaya ultra violet) seperti cahaya lampu mercury. Pada dasarnya dikenal dua jenis photoresist yaitu yang bersifat photoresist negatip dan photoresis positip.

Photoresist negatip; dimana cahaya ultra violet yang jatuh pada resist menyebabkan terjadinya proses polimerisasi yang menyebabkan ikatan kimianya bertambah kuat sehingga lebih tahan terhadap pelarut.

Photoresist positip; dimana cahaya ultra violet yang jatuh pada resist merusakkan struktur kimia dari senyawa sehingga mudah larut dalam larutan pengembang (developer).*Photoresist* umumnya harus memiliki sifat-sifat yang diperlukan pada proses divais seperti:

1. Daya adhesi yang baik.
2. Tahan terhadap larutan etchant.
3. Sensitivitas atau kepekaan terhadap cahaya.
4. Resolusi yang baik sehingga pola gambar dalam bentuk orde mikron dapat dicapai dengan tajam.

Hal yang penting perlu diperhatikan pada pemakaian *Photoresist* adalah lapisan harus rata (uniform), homogen dan bebas dari pinhole. Untuk memperoleh lapisan yang merata pada wafer digunakan photoresist spinner. Untuk viskositas tertentu, ketebalan yang dapat memenuhi syarat pada proses adalah sekitar 2000 - 4000 rpm.

Teknik Etsa Foto *Photoresist* yang menggunakan fotoresis selain digunakan untuk pembuatan divais semikonduktor, juga untuk pembuatan papan rangkaian tercetak (printed circuit board, PCB). Akan tetapi, yang paling kelihatan kemajuannya adalah pada proses pembuatan rangkaian terpadu semikonduktor. Sampai sekarang sudah dapat mentroses a ui kabel berukuran 1 milro meter. dan dlharapkan akan setnakin rneneecil sehingga dapat digunakan tidak hanya dalam bidang semikonduktor (IC atau LSI), tetapi juga untuk proses lain yang mementingkan bahan berukuran kecil. Selain itu ada tipe resis dengan nama Multiresis, dimana multiresis ini dapat menurunkan daya pelarutan sampai lebih kecil dan 1 mikrometer, dan dapat menambah daya tahan fotoresis sewaktu pengetsaan. Untuk memenuhi permintaan dalam meratakan permukaan benda kerja yang tidak rata, saat ini mulai dipakai multiresis dengan daya etsa di bagian bawah, dan kepekaan menerima sinar di bagian atas.

Masker (pelindung) foto adalah Masker foto terdiri dari sebuah pelat gelas dengan pola dari bahan yang tak tembus sinar ultra violet. Bahan itu semacam gelatin yang mengandung halogenida perak (untuk masker yang lunak), atau logam chromium atau oksida logam (untuk masker yang keras). Bahan tipe gelatin walaupun sudah sering dipergunakan untuk proses itu mempunyai kelemahan yaitu mempunyai transmitansi cahaya yang besar pada ujung ujungnya sehingga tidak tepat dipakai untuk membuat pola yang sangat halus. Tetapi ini baik untuk pola interkoneksi dari alumunium (Al). Karena memberikan faktor refleksi cahaya yang kecil.

9.3 Proses *lithography* pembuatan OFET (*Organic Field Effect Transistor*)

Proses *lithography* pembuatan divais semikonduktor merupakan bagian yang penting, dimana geometri divais ditentukan pada permukaan *wafer* silikon. Pembuatan divais terdiri atas berulang kali proses *lithograpy*, seperti tahapan pada proses pembukaan gerbang difusi dan oksidasi.

Langkah-langkah pada proses *lithograpy*, adalah sebagai berikut:

1 Persiapan substrat:

a) Bahan : Substrat *Silicon Wafer Single Side Pulishing*

b) Tebal : 600 μm

c) Diameter : 12,45 cm

d) Type : P

Gambar 9.1: Substrat *Silicon Wafer Single Side Pulishing*

2 Pencucian *Wafer Silikon*

Proses pencucian substrat *Wafer* Silikon sebelum dioksidasi mengikuti urutan sebagai berikut:

a. Proses Pencucian:

- *Wafer* Silikon dicelupkan Aceton mendidih selama 2 menit dan didinginkan.
- *Wafer* Silikon dicelupkan ke dalam larutan HF 10 % kurang lebih 15 detik.
- Dibilas dengan DI H_20 kurang lebih 5 menit

b. Proses Pra Oksidasi:

- Dipanaskan dalam larutan DI H_20 : NH40H : H_20_2 = 5 : 1 : 1 selama kurang lebih 15 menit.
- Dibilas dengan D1 H20 selama kurang lebih 5 menit
- Proses Pra Oksidas dipanaskan selama 15 menit dalam larutan DI H_20 : HCl : H_20_2 = 6 : 1 : 1
- Dibilas dengan DI H_20_2 selama kurang lebih 5 menit.
- Setelah dibilas kemudian disimpan dalam Methanol
- Bila akan dipergunakan ditiup dahulu dengan gas N_2

3 Proses oksidasi pada *silicon wafer*

Proses oksidasi pada *silicon wafer* adalah proses penumbuhan lapisan oksida (SiO_2) diatas permukaan silikon (Si). Proses Oksidasi merupakan dasar dari teknologi planar. Oleh karena itu pengontrolan secara teliti lapisan oksida dan pengetahuan mengenai kinetika dan mekanisme proses oksidasi sangat penting dalam fabrikasi planar divais. Dengan demikian agar dihasilkan unjuk kerja divais yang optimal maka sifat-sifat listrik dan karakteristik fisik oksida harus dipahami. Silikon oksida mempunyai banyak kegunaan diantaranya bertindak sebagai penghalang terhadap pencangkokan dan difusi dopan kedalam Si.

Gas yang digunakan untuk proses oksidasi *silicon wafer*, antara lain berupa: O_2, H_2O atau CO_2. Gas ini dapat bereaksi dengan kristal tunggal Si maupun polikristal Si. Dalam penelitian ini digunakan gas O_2 untuk proses oksidasi dengan teknik *thermal dry oxidation* (oksidasi kering) *wafer* silikon pada bagian atas *wafer silicon* yang dilapisi dengan SiO_2.

$$Si + O_2 \longrightarrow SiO_2$$

4 Proses *etching*

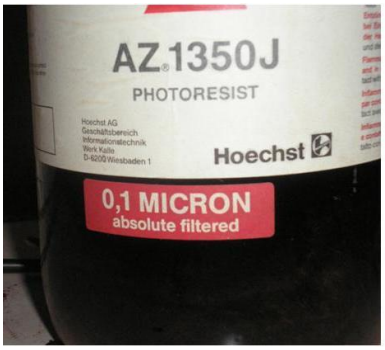
Proses menghilangkan lapisan oksida SiO_2 bagian bawah dengan menggunakan larutan *buffer* HF.

5 Proses pelapisan emas (Au) dengan metode VE pada lapisan SiO_2 bagian atas.

6 Proses pelapisan *photoresist* posisitif AZ

Proses pelapisan *photoresist* posisitif AZ menggunakan teknologi *spinner* dan menerapkan: kecepatan 4000 rpm, waktu 30 detik, posisi vakum dan dipanaskan dalam *clean oven* selama 15 menit pada temperatur 85 ^oC. *Photoresist* dilakukan pada bagian bawah substrat untuk membentuk pola *source* dan *drain*.

Seluruh permukaan dilapisi dengan *photoresist* dan diputar untuk menndapatkan lapisan yang rata dengan ketebalan tertentu. Selanjutnya lapisan photoresist disinari



Gambar 9.2: Larutan *developer* AZ1350J

dengan ultraviolet melewati masker untuk menentukan tempat-tempat yang akan dillakukan difusi. Pada tempat yang terkena radiasi sinar ultraviolet terjadi polimerisasi (mengeras), tapi pada tempat yang tidak tembus sinar ultraviolet tidak terjadi polimerisasi. Kemudian dilakukan proses development (pengembangan) untuk membersihkan photoresist yang tidak mengalami polimerisasi. Selanjutnya dilakukan proses etching untuk mengikis silikon dioksida yang tidak dilindingi photoresist. Sekarang ada permukaan wafer yang terbuka, tidak ditutupi oleh silikon dioksida (SiO_2).

7 Expose dengan sinar UV selama 60 detik menggunakan masker 1 *(source dan drain)* Hasil dari proses *photo resist*, kemudian diekspos ke sinar ultraviolet (UV). Reaksi kimianya ditrigger oleh tahap pada proses tersebut, sama dengan apa yang terjadi pada material film pada sebuah kamera saat menekan tombol *shutter*. Hasil dari *photo resist* yang diekspos ke sinar UV akan bersifat dapat larut. *Exposure* diselesaikan dengan menggunakan masker yang berfungsi seperti stensil dalam tahap proses ini. Saat digunakan dengan cahaya UV, masker membentuk pola-pola *source* dan *drain* di atas substrat. Sebuah lensa (di tengah) mengurangi *image* dari masker sehingga yang dicetak di atas *wafer* biasanya adalah empat kali lebih kecil secara linier dari pada pola-pola dari masker.

Gambar 9.3: Larutan *developer* MF319H

8 Selanjutnya dilakukan *developer*

Developer dilakuan menggunakan larutan timah sampai timbul pola masker elektroda S dan D, kemudian dicuci dengan DI H_2O dan dipanaskan kembali pada temperatur 120° selama 30 menit. Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk menimbulkan pola pada resis dengan cara mencelupkan substrat ke dalam larutan *developer*. Larutan *developer* yang digunakan dalam penelitian ini adalah MF319. Pada proses ini substrat ($Si/(SiO_2)$ dicelupkan dalam larutan *developer* hingga pola pada resis benar-benar terbentuk dengan baik.

9 Proses *etching* emas (Au) menggunakan KI + I_2 + DI H_2O.

a. Etsa basah, dimana material akan larut ketika dicelupkan dalam larutan kimia

b. Etsa kering, dimana material dipancarkan (*sputtering*) atau dilarutkan dengan ion reaktif atau fase uap ETSA. Sputtering adalah proses terlemparnya (*ejected*) material dari suatu permukaan zat padat akibat ditumbuk oleh partikel berenergi tinggi hingga terjadi pertukaran momentum (*momentum exchange*).

Teknologi etsa kering dapat dibagi dalam 3 kelas tersendiri yang disebut ion reaktif etsa (RIE), etsa Etsa Sputter dan etsa fase uap.

- RIE (*Ion Reaktif Etsa*)

  Substrat ditempatkan dalam reaktor di mana beberapa gas dimasukkan. Sebuah plasma dipukul dalam campuran gas menggunakan sumber daya RF, memecahkan molekul gas menjadi ion. Ion-ion yang dipercepat menuju, dan bereaksi pada, permukaan material yang tergores, membentuk gas lain. Hal ini dikenal sebagai bagian kimia reaktif etsa ion. Ada juga bagian fisik yang mirip di alam dengan proses deposisi *sputtering*.

  Jika ion memiliki energi yang cukup tinggi menumbuk atom lain dari bahan yang akan tergores tanpa reaksi kimia. Ini adalah tugas yang sangat kompleks untuk mengembangkan proses etsa kering keseimbangan kimia dan etsa fisik, karena ada banyak parameter untuk menyesuaikan. Dengan mengubah keseimbangan dimungkinkan untuk mempengaruhi anisotropi etsa, karena bagian kimia isotropik dan kombinasi bagian fisik anisotropik dapat membentuk dinding samping yang memiliki bentuk bulat vertikal.

- Etsa *sputter*

  Etsa *sputter* pada dasarnya RIE tanpa ion reaktif. Sistem yang digunakan sangat mirip pada prinsipnya untuk *sputtering* sistem deposisi. Perbedaan besar adalah substrat yang sekarang ini mengalami penembakan ion dari pada target bahan yang digunakan dalam deposisi *sputter*.

- Fase uap etsa

  Fase uap etsa adalah metode etsa kering dilakukan dengan peralatan sederhana dari pada RIE. Dalam proses ini substrat *wafer* akan terukir di dalam sebuah ruang, dimana satu atau beberapa gas dimasukkan. Bahan yang akan dietsa dilarutkan di permukaan dalam reaksi kimia dengan molekul gas. Kedua paling umum pada teknologi etsa fase uap adalah silikon dioksida, etsa ini menggunakan *hidrogen fluorida* (HF) dan etsa silikon menggunakan diflouride xenon (XeF_2).

10 *Remove resist* positif AZ dengan *aceton*.
Proses *photoresist* yang lengket dilarutkan sempurna oleh suatu pelarut. Proses ini meninggalkan sebuah pola dari *photoresist* yang dibuat oleh masker. Penelitian ini menggunakan Aceton dengan rumus molekul $(CH_3)_2CO$ dengan massa per molnya 58,08 g/mol. Aseton juga dikenal sebagai propanon, dimetil keton, 2-propanon, propan-2-on, dimetilformaldehi dan β-ketopropana adalah senyawa berbentuk cairan yang tidak berwarna dan mudah terbakar. Ia merupakan keton yang paling sederhana. Aseton larut dalam berbagai perbandingan dengan air, etanol, dietil eter dll. Ia sendiri juga merupakan pelarut yang penting.

11 Proses pelapisan emas (Au) pada bagian bawah silikon (Si) dengan teknologi vakum evaporasi (VE) pada suhu ruang.

12 Proses pelapisan *photoresist*
Proses pelapisan *photoresist* yang dilakukan dalam penelitian ini adalah proses pelapisan *photoresist* positif AZ pada lapisan emas (Au) dengan *spinner* dengan menerapkan parameter, yaitu: kecepatan 4000 rpm, waktu 30 detik, posisi dalam keadaan vakum dan dipanaskan dalam *clean oven* selama 15 menit pada temperatur 85° C. *Photoresist* dilakukan pada bagian bawah substrat untuk membentuk pola *gate*.

13 Proses *etching* emas (Au) menggunakan KI + I_2 + DI H_2O.

14 *Remove resist posisitif* AZ dengan *aceton*.

15 Proses pelapisan *photoresist* positif AZ pada lapisan Au (emas) bagian atas (kontak *source* dan *drain*) dengan *spinner* dengan menerapkan : kecepatan 4000 rpm, waktu 30 detik, pada keadaan vakum dan dipanaskan dalam *clean oven* selama 15 menit pada temperatur 85° C.

16 Papar dengan sinar UV selama 60 detik menggunakan masker .Selanjutnya dilakukan developer dengan larutan timah sampai timbul pola masker CuPc dan dicuci dengan DI H_20 hingga bersih.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

17 Proses pelapisan CuPc pada bagian atas silikon dengan metode penguapan hampa udara dengan menerapkan : tekanan 8 x 10^{-4} Torr, arus 45 A,waktu selama 1 jam dan massa CuPc 200 mg.

18 *Remove resist* positif AZ dengan *aceton* dan sekaligus melapisi pada resist tersebut, sehingga pola CuPc terbentuk.

19 Hasil akhir pada proses pembuatan OFET sebagai sensor gas adalah terbentuknya kontak resistansi *source*, *drain* dan *gate*.

20 OFET yang telah dibuat diletakkan di atas lapisan PCB (*Printed Circuit Board*) dengan menggunakan *gold wire* dan *silver pasta*, kemudian kontak PCB dipasang kabel bahan emas untuk melakukan pengukuran.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Bab 10

PENUTUP

Buku ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi pembaca yang berminat belajar teknik deposisi film tpis, karakterisasi struktur kristal, analisis hasil deposisi dan proses pembuatan OFET dengan teknik *lithography*. Penulis memaparkan metode deposisi film tipis dengan bahan semikonduktor organik CuPc (*copper phthalocyanine*) berbentuk serbuk dan berwarna biru. Selaian metode deposisi film tipis juga akan diuraikan hasil deposisi film tipis, karakterisasi menggunakan X-RD/SEM dan teknik *lithography*. Adapun alat yang digunakan untuk deposisi film tipis CuPc adalah *Model JEOL JEE-4X* .

Penulis menyajikan hasil deposis ilm tipis CuPc dengan variabel arus pada alat *vacuum evaporator* (VE), yaitu: 35 A, 40 A, 45A dan 50 A. Hasil karakterisasi X-RD menunjukkan bahwa deposisi film tipis CuPc dengan variable arus 35 A tidak tampak adanya puncak yang dominan. Sedangkan deposisi film tipis CuPc dengan variable arus 40, 45 dan 50 A tampak puncak dominan yang berkaitan dengan struktur kristal. Morfologi film tipis berkaitan dengan struktur kristal yang ditunjukkan oleh spektrum *X-ray diffraction* (XRD). Penambahan arus pada saat deposisi menyebabkan kecepatan deposisi flm tipis meningkat tetapi resistansinya menurun. Disamping itu perubahan arus pada saat deposisi akan menghasilkan film tipis dengan nilai FWHM lebih rendah, ini menunjukkan kualitas kristal lebih baik.

Buku ini bertujuan memberikan alternatif untuk memahami karakterisasi film tipis yang dapat kita lakukan dalam kondisi keterbatasan alat. Memang terkadang didapatkan hasil riset yang kurang eksak, tetapi cukup memberikan informasi tentang sifat mikromaterial yang sedang kita pelajari. Jelas, hal ini lebih baik dari pada kita diam saja tidak melakukan apa-apa dan mengeluh karena keterbatasan peralatan yang ada. Penulis merencanakan untuk menyusun kelanjutan dari buku ini yang berkaitan dengan hasil proses *liyhography*, hasil akhir pembuatan OFET berbasis film tipis CuPc dan aplikasi OFET untuk sensor gas beracun.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

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.

Adamyan, AZ, Adamyan, ZN dan Aroutiounian,V.M, 2009, Study of sensitivity and response kinetics changes for SnO2 thin-film hydrogen sensors, *International journal of hydrogen energy, 34,* 8438-8443.

Ali, M. , Wang,Ch.Y, Rohlig,C.C, Cimalla,V, Stauden,Th. dan Ambacher,O, 2008, NOx sensing properties of In2O3 thin films grown by MOCVD, *Sensors and Actuators B 129*, 467-472

Arshak, K., Moore, E., Lyons, G.M., Harris, J., and S. Clifford, S., 2004, A review of gas sensors employed in electronic nose applications, *Sensor Review, Volume 24, Number 2*, 2004, pp. 181-198.

Aviram, A. and Ratner, M.A., 1974, Molecular Rectifier, *Chemical Physics Letters 29*: 277

Azizahwati, 2002, Studi Morfologi Permukaan Film Tipis PbzR0, 525Ti , 475O3 Yang ditumbuhkan Dengan Metode DC Unbalanced Magnetron Sputtering, *Jurnal Natur Indonesia 5(1)* :50-56.

Barmawi Malvino dan Tjia, 1985, *Aproksimasi Rangkaian Semi Konduktor (Pengantar Transistor Rangkaian Terpadu)*, Jakarta: Erlangga.

Brunauer, S.,P.H. Emmett, P.H. and Teller, E., 1938, *J.Am Chem. Soc.*, 1938,60,309.

Darsono dan Suhadi, 1977, *Ilmu Bahan Listrik I*, Jakarta: Proyek Pengadaan Buku Pendidikan Menegah Teknologi.

Eitssayeam S, Inthatha U, Pengpat K, Tunkasiri T. 2005. Properties of CdS:Ni Films Prepared By Chemical Bath Deposition Method. *Journal of Materials Science*, 40, 3803-3807.

El-Nahass, M. M., Abd El-Salam, F. and Seyam, M. A. M. Optical and structural

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

properties of flash evaporated HgTe thin films, *Journal of Materials Science*, June, 2006, Vol.41(12), p.3573.

Heri Sutanto, Iis Nurhasanah, Istadi, Maryanto, Wahyu Ambikawati, dan Nofi Marlini, 2010, Mikrostruktur Semikonduktor GaN di Atas Substrat Silikon Dengan Metode Sol-Gel, *Berkala Fisika*, ISSN: 1410- 9662 Vol 13 , No. 2, April 2010 hal 55-60.

Hiskia dan I Dewa Putu Hermida, 2006, Pengembangan Sensor Gas Carbon Monoxide (CO) Berbasis SnO2, *Prosiding Seminar Nasional Tenaga Listrik dan Mekatronik* (halaman: 555-560), ISBN: 979-26-2441-4, Bandung, 27-28 Juli 2006

Horowitz,G., 2000, Physics of organic field-efect transistors. 2000, *Semiconducting Polymers*, pages 463-514

Ho-Shik, Lee, Min-Woo,Cheon and Yong-Pil Park, 2011, Electrical Properties of a Cu-Pc Field-Effect Transistor Using a UV/Ozone Treated and Untreated Substrate, *Transactions on Electrical and Electronic Materials,* 40-42

IshiiI, T. M., Takano, M., Xie, L.,H., Noma, A. and Oohmori, H, 1999, Molecular characterization of the hyperpolarization activated cation channel in rabbit heart sinoatrial node. *Journal of Biological Chemistry 274*, 12835-12839

Jones, A.C., &Brien, P. O, *CVD of Compound Semiconductors : Precursors Synthesis, Development and Applications*, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Germany, 1997.

Joshi, C. 2003. Characterization and Corrosion of BCC-Tantalum Coating Deposited on Alumunium and Steel Substrate by DC Magnetron Sputtering. *Thesis*, Institute of technology, New Jersey: 10-18.

Leznoff,C.,C. and Lever, A.,B.,P., 1989, *Phthalocyanines, Properties and Applications*, 1-3 VCH

Lu, Z., Truman, J.K., Johansson, M.E., Zhang,D., Shih, C.F., & Liang, G.C., *Appl. Phys. Lett.* 67, 712 (1995).

Maggioni, G., Carturan, S. , Quaranta, A., Patelli, A. , Della Mea, G., *Chem. Mater.* 14 (2002) 4790.

Maggioni,G., Quaranta,A., E. Negro, E., S. Carturan, S., G. Della Mea, G., *Chem. Mater.* 16 (2004) 2394.

Maggioni,G., Quaranta. A, Carturan, S., Patellic,A, M. Tonezzera, M., Ceccato, R. dan Della Mea, G., 2005, Deposition of copper phthalocyanine films by glow discharge induced sublimation for gas sensing applications, *Surface and Coatings Technology* 200 (2005)476-480.

Maggioni, G., Carturan, S., Tonezzer, M., Quaranta, A. and Della Mea, G., 2008, Plasma-deposited copper phthalocyanine: A single gas-sensing material with multiple responses, *Sensors and Actuators B 131*, 496-503.

Masayuki Shimao , Tsuyoshi Tamogami, Shinsuke Kishida, Shigeaki Harayama, 2000 : *The gene pvaB encodes axidized polyvinyl alcohol hydrolase of pseudomonas sp. Strain Vm15c and forms an operon with the polyvinyl alcohol dehydrogenase gene pvaA*, Microbology, 146, 649-657.website: http://mic.sgmjournals.org/cgi/content/full/146/3/649

Mikrajuddin Abdullah dan Khairurrijal, 2010 *Karakterisasi Nanomaterial (Teori, Penerapan, dan Pengolahan Data*, CV. Rezeki Putera Bandung.

Min, Y., 2003, *Properties and Sensor Performance of Zinc Oxide Thin Film*, Massachusetts Institute of Technology

Mirwa, A., Friedrich, M., and Hofman, A., 1995. Sensors and Actuator, *Sensors and Actuator* B24-25, 596.

Muhaimin. 1991, *Bahan-bahan Listrik untuk Politeknik*, Jakarta: Andi Offset.

Nur Aini Handayani, 2007, Analisis XRD pada film tipis Al_x $Ga_{1-x}N$ di atas Si (111) yang Ditumbuhkan dengan Metode *dc Magnetron Sputtering*, *Skripsi*, Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang.

Ohring, M., 2002, *The Materials Science of Thin Films*, Elsevier Science & Technology Books

Purwaningsih, S.Y. 2003. Pembuatan Lapisan Tipis ZnO:Al pada Substrat Kaca dengan metode *DC Magnetron Sputtering* dan Karakterisasi Sifat Fisisnya. *Thesis*. Univeritas Gajahmada, Yogyakarta: 8-10.

Rina Agus Wiliastuti, 2006, Studi Penumbuhan Membran Polyvinyl Alcohol (PVA) Dengan Variasi Konsentrasi PVA Menggunakan Metode Spin Coating Di Atas Lapisan Elektroda Platinum,*Skrips*i. Fisika FMIPA Universitas Sebelas Maret Surakarta.

Santos, P. V., N. M. Johnson, and R. A. Street, 1991, *Light-Enhanced Hydrogen Motion in a-Si:H*, Phys. Rev. Lett., 67, 2686-2689.

Shimao Masayuki, Tamogami Tsuyoshi, Kishida Shinsuke, Harayama Shigeaki,2000 : The gene pvaB encodes axidized polyvinyl alcohol hydrolase of pseudomonas sp. Strain Vm15c and forms an operon with the polyvinyl alcohol dehydrogenase gene pvaA, Microbology, 146, 649-657.website*http://mic.sgmjournals.org/cgi/content/full/146/3/649*

Smallman, R.E. and Bishop, R.J., 1999, Modern Physics Metallurgy and Materials Engineering, *Great Britain, Bath Press.*

Smallman, R.E. dan Bishop, R.J., 2000, *Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*, 6th Edition. *PT. Gelora Aksara Pratama.*

Srivastava, J.K., Preeti Pandey, Mishra, V.N. and Dwivedi, R., 2009, Sensing mechanism of Pd-doped SnO_2 sensor for LPG detection, *Solid State Sciences 11*, 1602-1605

Stuart, R.V. , 1983 : *Vacuum Technology Thin Films,And Sputtering an introduction*, Academic Press, Inc., New York.

Sugianto, M. Budiman , P. Arifin , dan M. Barmawi, 2004, Strain Film Tipis GaN Ditumbuhkan Di Atas Substrat Sapphire Dengan Metode PA-MOCVD, *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa kimia dan Proses 2004*, ISSN: 1411- 4216.

Sugianto, Sani, R.A., Budiman, M., Arifin, P. and Barmawi, M., (2000) ,GaN thin film grown on hydrogen plasma cleaned sapphire substrates by plasma-assisted MOCVD. *Proc.of International workshop on nitride semiconductor (IWN-2000)*, Nagoya-Japan,September 24-27, IPAP Conf. Series-1, 251.

Sulhadi, Putut Marwoto dan Sugianto, 2010, Pengaruh Kondisi Penumbuhan Pada Sifat Fisis Film Tipis GA $_2O_3$ Dengan Doping ZNO, *Sainteknol (Jurnal Sain dan Teknologi)*, Vol 8 No.2.

Sujarwata dan Kuwat Triyana, 2010, Studi Penumbuhan Film Tipis CuPc Dengan Metode Penguapan Hampa Udara Pada Suhu Ruang Untuk Aplikasi Sensor Gas, *Sainteknol (Jurnal Sain dan Teknologi)*, Vol 8 No.2.

Sujarwata dan Putut Marwoto, 2013, *Pengembangan Transistor Efek Medan Organik (OFET) Berbasis Film Tipis Dengan Material CuPc Untuk Mendeteksi Gas Beracun.* Laporan penelitian Hibah Bersaing, DIPA Universitas Negeri Semarang Nomor: DIPA-023.04.2.189822/2013.

Sujarwata dan Putut Marwoto, 2013, Sensor Gas Berbasis Film Tipis Dengan Konfigurasi Transistor Efek Medan (FET) Untuk Deteksi Gas CO, *Sainteknol (Jurnal Sain dan Teknologi)*, Vol 11 No.2.

Sujarwata dan Putut Marwoto, 2013, Mobilitas Pembawa Muatan Pada OFET (Organic Field Effect Transistor) Berbasis Film Tipis, *Jurnal MIPA*, Vol. 36 No.2.

Street,R.A.,1991,*Hydrogenated Amorphous Silicon*,Cambridge University Press,London.

Sumanto, 1996, *Pengetahuan Bahan untuk Mesin dan Listrik*, Jakarta: Andi Offset.

Triyana, K., Yasuda,T., Fujita, K. and Tsutsui, T., 2004, Effects of Different Materials Used for Internal Floating Electrode on the Photovoltaic Properties of Tandem Type Organic Solar Cell,*Jpn. J. Appl. Phys.* 43, 2352

Warner, Marc; et al, 2013), *New Material for Quantum Computing Discovered Out of the Blue*, Nature. Retrieved November 3, 2013.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Yin, C. K. C., 2001, *Phthalocyanine Based Organic Solar Cells*, Master Thesis, University of Hongkong, Hongkong.

https://en.wikipedia.org/wiki/X-ray_Diffraction

http://eprints.uny.ac.id/8160/3/bab2-08306141017.pdf

http://id.shvoong.com/products/consumer_electronics/2203015

https://en.wikipedia.org/wiki/CuPc

http://www.yohanessurya.com/download/penulis/Teknolog_20pdf

http://agusdarmaputra.blogspot.com/2010/11/berbicara-monitor_tampakanya.html

http://12650129-imk.blogspot.com/2012/12/layartft-amoled-super-amoled-crt-led.htm

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Indeks

chamber, 53
Adsorption site, 53
Brunauer-Emmett-Teller, 48
Chemical Vapor Deposition, 35
E-DX, 95
Glow Discharge-Induced Sublimation, 49
Glucose Oxidase (GOD), 41
Metal Organic Chemical Vapor Deposition, 36
Model JEOL JEE-4X , 53
Organic Light Emiting Diode, 28
Pulsed Laser Deposition, 36
Specific Surface Area, 48
Sputtering, 35
X-Ray Diffraction, 32, 56
X-ray powder diffractometer, 57
adhesi, 53
bom bardier, 36
cool blue, 29
copper phthalocyanine, 49, 50
dc magnetron sputtering, 46
desublimation, 34
electron-beam evaporation, 50
filament evaporation, 50
holder diffractometer, 58
hot plate, 55
lithograpy, 100
magnetic stirre, 55
multilayer, 38
nitrogen, 45
on /off, 47
particulate, 36
phthalo blue, 29
reactor, 38
reevaporasi, 53
resonator tipe down-stream, 39
rough, 36
sputtering, 45
thermal cleaning, 39
thin film, 28, 34
trimethyl-gallium, 39
wafer, 100
Energy Dispersive X-ray Spectroscopy, 31
Hole Transport Layer, 27
Organic Light-Emitting Diode, 23
antimony, 24
boron, 24
mobile, 27
phthalocyanine, 28
sofwere, 31

photovoltaik, 30
gas N_2, 39

air-DI, 39

bioteknologi, 41

CBD Chemical Bath Deposition, 55
Copper Phthalocyanine, 27
CuPc, 27–29, 49, 50
CVD, 36

deposisi, 45
DEPOSISI FILM TIPIS, 34
doping, 24

E-DX, 96
EDAX, 32

evaporan, 50

film tipis, 34, 35, 96

gas NO_2, 28
GDS, 46, 47

Hambatan Jenis, 23
HOMO, 30

Isolator, 20

Konduktor, 20

Lapisan tipis CdS, 55
LUMO, 30

Material phthalocyanine, 27
Metode dc magnetron sputtering, 44
metode VE dengan GDS, 47
MOCVD, 36
MOVPE, 38
MPc, 28

OFET, 28, 30, 100
OLED, 27
OPV, 28

penyangga GaN, 39
Polyvinil Alcohol (PVA), 41

SEM-EDX, 31
Semikonduktor, 20
semikonduktor, 25
Semikonduktor Ekstrinsik, 23
Semikonduktor Intrinsik, 23
Semikonduktor tipe N, 25
Semikonduktor tipe P, 25
sensor, 47
Si, 28
spektromete FT-IR, 48
Subtrat, 39
subtrat Si/ SiO_2, 95

TCO, 55
TFT, 34

vakum evaporasi, 96
VE, 95

XRD, 32, 46

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

GLOSARIUM

CuPc (*Copper Phthalocyanine)* : Merupakan merupakan material semikonduktor organik yang sering digunakan pada deposisi film tipis.

Transistor efek medan organik (OFET) : Transistor yang menggunakan semikonduktor organik, dimana sambungan antara logam semikonduktor dipengaruhi oleh efek medan listrik.

SEM- EDX (*Energy Dispersive X-ray Spectroscopy*) : merupakan 2 perangkat analisis yang digabungkan menjadi satu panel analitis sehingga mempermudah proses analisis dan lebih efisien.

Hasil analisis SEM-EDX : Berupa gambar struktur permukaan dari setiap sampel yang diuji dengan karakeristik gambar 3-D serta grafik.

Data E-DX dan XRD : dianalisis untuk mengetahui penumbuhan film tipis di atas substrat dan orientasi kristal dari film tipis.

Teknologi *Thin Film* (TFT) : Merupakan salah satu bagian dari teknologi proses mikro-elektronika/ nano-elektronika untuk fabrikasi kompone PLD merupakan teknik deposisi yang menggunakan laser sebagai sumber energi untuk mengevaporasi material yang berupa *bulk target* komponen elektronika dan sensor secara *screen-printing.*

***Sputtering* (DC atau RF)** : Merupakan pelepasan atom-atom dari permukaan target oleh *bom bardier* partikel yang berenergi tinggi. Atom-atom dari permukaan target dapat terlepas akibat ion yang dipercepat menumbuk permukaan target melalui proses transfer momentum.

Metode deposisi MOCVD : Salah satu metode deposisi yang memiliki beberapa keunggulan dalam bidang teknologi pembuatan film tipis (Jones and Brien, 1997).

***Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition* (PECVD)** : Reaksi CVD berlangsung pada temperatur tinggi untuk mengatasi energi aktivasi *reactan.* Temperatur tinggi akan merusak substrat, khususnya bagian-bagian metal.

Metode LPCVD : Merupakan salah satu dari metode metode penumbuhan (deposisi) dengan memanfaatkan proses pengendapan uap kimia tekanan rendah.

MOCVD (*Plasma-Assisted Metalorganic chemical Vapor Deposition*) : Merupakan metode secara epitaksi yang menjadi standar industri untuk produksi divais elektronika.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

BET : Merupakan singkatan dari nama-nama ilmuwan yang menemukan teori luas permukaan spesifik pada suatu material. Ilmuwan tersebut adalah Brunaeur, Emmet dan Teller.

X-ray powder diffractomete : Utamanya dipergunakan untuk identifikasi tahapan dalam bentuk serbuk.

SEM : Jenis mikroskop elektron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan material yang dianalisis.

Amorf : Memiliki pola susunan atom-atom atau molekul-molekul yang acak dan tidak teratur secara berulang. *Amorf* terbentuk karena proses pendinginan yang terlalu cepat sehingga atom-atom tidak dapat dengan tepat menempati lokasi kisinya.

X-Ray Diffraction : Instrumen dirancang untuk aplikasi pengukuran *microstructure*, pengujian dan penelitian. Berbagai aksesori, pengendalian perangkat lunak dan perhitungan dipilih untuk difraksi yang sesuai sistem dan kebutuhan praktis.

Deposisi : Pengertian deposisi secara umum adalah suatu proses perubahan dari gas berubah menjadi padat (dikenal sebagai *desublimation*)

Semikonduktor : adalah sebuah bahan (material) yang memiliki sifat konduktivitas listrik yang berada di antara isolator dan konduktor.

Proses *lithography* : pembuatan devais semikonduktor merupakan bagian penting dimana geometri divais ditentukan pada permukaan *wafer* silikon. Pembuatan divais semikonduktor terdiri atas berulang kali proses *lithograpy*, seperti tahapan pada proses pembukaan gerbang difusi dan oksidasi.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Biodata Penulis

Sujarwata lahir di Daerah Istimewa Yogyakarta pada tahun 1961. Pendidikan SD, SMP, SMA ditamatkannya di Yogyakarta. Pada tahun 1982 ia melanjutkan pendidikan di IKIP Yogyakarta Jurusan Pendidikan Fisika dan memperoleh ijazah Sarjana Pendidikan Fisika pada tahun 1988. Ia menjadi dosen di Universitas Negeri Semarang (Unnes) tahun 1989 hingga sekarang. Ia melanjutkan pendidikan S2 di Jurusan Teknik Elektronika UGM, dan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada tahun 2004. Pada tahun 2015 ia menyelesaikan studi pada program S3 Ilmu Fisika di Universitas Gadjah Mada (UGM) dalam bidang Fisika material dan memperoleh gelar Doktor (Dr.). Selama ini, ia bertugas di bidang Elektronika, Instrumentasi dan Mikrokontroler sehingga kegiatan yang telah dilaksanakannya mencakup bidang tersebut.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

Biodata Penulis

Fianti lahir di Yogyakarta pada tahun 1979. Pendidikan SD, SMP, dan SMA ditamatkan di Yogyakarta. Program Sarjana (S1) Jurusan Fisika dan Master (S2) Ilmu-ilmu Fisika diraihnya di Universitas Gadjah Mada. Program Doktor (S3) diraihnya di Yeungnam University, 2015. Artikel-artikel yang terpublikasi menyajikan hasil risetnya tentang material anorganik yang dipakai untuk pembuatan sel surya. Dengan masih berafiliasi di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, ia masih terus mengembangkan risetnya dibidang yang sama. Seiring waktu riset di bidang film tipis yang dilakukannya telah berkembang, tidak hanya film tipis untuk sel surya, namun untuk modul-modul lain di elektronika.

UNNES
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG