

**KAJIAN PENCIRIAN SIFAT STRUKTUR, OPTIK  
DAN ELEKTRIK SAPUT TERSEJAT TIMAH (IV) OKSIDA  
SERTA KESAN DEDAHAN GAS**

**ROSNITA BINTI HJ. MUHAMMAD**

**Tesis Ini Dikemukakan  
Sebagai Memenuhi Syarat Penganugerahan  
Ijazah Sarjana Sains (Fizik)**

**Fakulti Sains  
Universiti Teknologi Malaysia**

**Julai 1997**

*Buat Suami Tersayang...*

*Buat Kedua Ibu Bapa Tersayang...*

*Buat Adik Beradik Tersayang...*

## PENGHARGAAN

### *Dengan Nama Allah Yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang*

Alhamdulillah, syukur kehadiran Allah s.w.t kerana dengan izin-Nya penulis dapat menyelesaikan projek sarjana dan menyelesaikan tesis ini.

Setinggi-tinggi penghargaan dan ucapan terima kasih kepada Prof. Madya Dr. Bakar Ismail dan Encik Karim Deraman selaku penyelia yang telah banyak memberi panduan, pandangan dan pertolongan di sepanjang perjalanan kerja-kerja amali dan penyempurnaan penulisan tesis ini. Terima kasih juga kepada Prof. Madya Dr. Samsudi Sakrani yang banyak memberi kritikan membina.

Tidak ketinggalan ribuan terima kasih buat En. Nazari Kamaruddin yang banyak membantu dalam kerja-kerja makmal di Makmal Vakum (UTM), En. Jaafar Mohd Radji atas pengendalian peralatan XRD di Makmal Sinar-X (UTM), En. Azmi Raiz atas pengendalian peralatan spektrofotometer di Jabatan Kimia (UTM) serta En. Mohd. Ali Mohd. Sufi atas bantuan analisis XRD di MINT, Bangi.

Buat rakan-rakan pelajar Ijazah Lanjutan, terima kasih yang tak terhingga dalam menunjuk ajar dan memberi idea yang bernas. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada UTM yang membiayai projek sarjana juga kakitangan PPS (Pusat Pengajian Siswazah) yang telah bersusah payah tentang pengurusan biasiswa.

**Rosnita Binti Muhammad**

*Julai, 1997*

## ABSTRAK

Saput tipis timah (IV) oksida disediakan secara penyejatan vakum dengan tekanan kurang daripada  $10^{-5}$  mbar pada ketebalan 50–400 nm. Saput yang disediakan pada suhu bilik ( $30^{\circ}\text{C}$ ) disepuh lindap pada suhu  $200^{\circ}\text{C}$ ,  $400^{\circ}\text{C}$  dan  $600^{\circ}\text{C}$  selama 3 jam dalam udara. Analisis pembelauan sinar-X menunjukkan saput amorfus pada suhu bilik berubah kepada polihablur dan teroksida selepas disepuh lindap. Analisis optik menunjukkan jurang tenaga dan indeks biasan saput berubah terhadap suhu sepuh lindap dan ketebalan saput. Kerintangan saput berkurang terhadap suhu pemanasan dan bertambah terhadap masa dedahan dalam gas oksigen dan udara. Pencirian elektrik pada sampel struktur terapis ( $\text{Al-SnO}_2\text{-Al}$ ) menunjukkan konduksi arus cas ruang terhad dan berubah kepada konduksi Schottky apabila didedahkan dalam atmosfera. Kekonduksian  $a.u$  sampel tersebut adalah berbanding lurus dengan  $\omega'$ , dengan  $\omega$  adalah frekuensi sudut dan  $s$  adalah kuantiti bersandar terhadap suhu. Nilai  $s$  berkurangan apabila suhu bertambah.

## ABSTRACT

Thin films of tin (IV) oxide have been prepared using vacuum evaporation with thicknesses from 50-400 nm at pressure less than  $10^{-5}$  mbar. The as-prepared samples were annealed in air at selected temperatures of 200°C, 400°C and 600°C for 3 hours in air. X-ray diffraction analysis showed that the annealed samples of amorphous form to polycrystal and oxidized. Optical measurement indicated changes in the energy gap and refractive index with annealing temperature and sample thickness. The resistivity of the film decreased with heating temperature and increased with time after exposed in oxygen, helium and air. Electrical characteristic for sandwich samples (Al-SnO<sub>2</sub>-Al) showed that the conduction was space charge limited current and changes to Schottky conduction after exposed in air. The a.c conductivity at these samples is proportional to  $\omega^s$ , where  $\omega$  is the angular frequency and  $s$  is a temperature dependent quantity. The value of  $s$  decreased with increase in temperature.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKASURAT</b>
	JUDUL	i
	PENGAKUAN	ii
	DEDIKASI	iii
	PENGHARGAAN	iv
	ABSTRAK	v
	ABSTRACT	vi
	KANDUNGAN	vii
	SENARAI JADUAL	xii
	SENARAI RAJAH	xiv
	SENARAI SIMBOL	xx
	SENARAI LAMPIRAN	xxiv
<b>BAB I</b>	<b>Pengenalan</b>	
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Saput tipis	1
	1.2.1 Mekanisme Pembentukan	2
	1.2.2 Kaedah penyediaan	2
	1.2.3 Kegunaan saput tipis	3
	1.3 Skop kajian	4

## BAB II            TIMAH (IV) OKSIDA, SnO<sub>2</sub>

2.1	Pengenalan	6
2.2	Pembentukan SnO <sub>2</sub>	6
2.3	Sifat struktur	8
2.4	Sifat optik	10
2.5	Sifat elektrik	12
2.5.1	Konduksi arus terus (a.t)	13
2.5.1.1	Kesan cas-ruang terhadap	13
2.5.1.2	Kesan Schottky	15
2.5.2	Konduksi arus ulangalik (a.u)	17
2.5.3	Kerintangan elektrik	17
2.6	Kegunaan saput tipis SnO <sub>2</sub>	20
2.6.1	Penderia gas	20
2.6.1.1	Penyerapan	22
2.6.1.2	Penjerapan	23
2.6.1.3	Serapan kimia	23
2.6.1.4	Jerapan fizik	23
2.6.1.5	Penyaherapan	24
2.6.1.6	Kesan rangsangan oksigen	24
2.6.2	Sel suria dan cermin haba	27

## BAB III            EKSPERIMEN

3.1	Pengenalan	28
3.2	Sistem vakum	28
3.2.1	Sistem pam resapan-putaran	30
3.2.2	Operasi sistem	30

3.3	Pengukuran ketebalan saput	32
	3.3.1 Monitor hablur kuarza	32
	3.3.2 Elipsometer	33
3.4	Penyediaan awal	34
	3.4.1 Penyediaan substrat	34
	3.4.2 Penyediaan sumber penyejatan	34
	3.4.3 Penyediaan topeng	36
3.5	Penyediaan saput tipis	36
3.6	Proses sepuh lindap	36
3.7	Pengukuran sifat struktur	37
3.8	Pengukuran sifat optik	37
3.9	Pengukuran sifat elektrik	38
	3.9.1 Pengukuran kerintangan	38
	3.9.2 Pengukuran berdasarkan arus ulangalik (a u) dan arus terus (a t)	40
	3.9.3 Pengukuran a u dan a t pada suhu berbeza-beza	40
	3.9.4 Penyediaan gas	43

## **BAB IV HASIL DAN PERBINCANGAN**

4.1	Pengenalan	44
4.2	Analisis sinar-X	44
	4.2.1 Kesan ketulenan bahan	45
	4.2.2 Kesan sepuh lindap	46
	4.2.3 Saiz butiran hablur	55



4.3	Analisis optik	57
4.3.1	Kesan sepuh lindap	57
4.3.1.1	Kehantaran	58
4.3.1.2	Jurang tenaga	58
4.3.1.3	Pemalar optik ( $n$ dan $k$ )	61
4.3.1.4	Pembentukan SnO <sub>2</sub> terhadap serapan optik	65
4.3.2	Kesan ketebalan	68
4.3.2.1	Kehantaran	68
4.3.2.2	Jurang tenaga	70
4.3.2.3	Pemalar optik ( $n$ dan $k$ )	73
4.3.2.4	Pemalar dielektrik	77
4.4	Analisis elektrik	80
4.4.1	Kerintangan	80
4.4.1.1	Kesan sepuh lindap	80
4.4.1.2	Kesan dedahan gas terhadap suhu pemanasan	84
4.4.1.3	Kesan dedahan gas terhadap masa	100
4.4.1.4	Kesan dedahan gas terhadap tekanan udara	110
4.4.1.5	Kesan dedahan gas terhadap penyimpanan saput	113
4.4.2	Pencirian ketumpatan arus-voltan (J-V)	116
4.4.2.1	Saput terapit sebelum dedahan	116
4.4.2.2	Saput terapit selepas dedahan	121
4.4.2.3	Perbandingan saput terapit sebelum dan selepas dedahan	126

4.4.3 Sifat dielektrik	126
4.4.3.1 Pemalar dielektrik	128
4.4.3.2 Ciri kapasitans	133
4.4.3.3 Kekonduksian arus ulangalik (a.u)	138
4.4.3.4 Lesapan dielektrik	145
<b>BAB V</b>	<b>RINGKASAN DAN KESIMPULAN</b>
5.1 Pengenalan	148
5.2 Ringkasan	
5.2.1 Sifat struktur	148
5.2.2 Sifat optik	149
5.2.3 Sifat elektrik	150
5.3 Kesimpulan	152
5.4 Cadangan	152
<b>RUJUKAN</b>	153
<b>LAMPIRAN A</b>	162
<b>LAMPIRAN B</b>	163
<b>LAMPIRAN C</b>	164

## SENARAI JADUAL

NO. JADUAL	TAJUK	MUKASURAT
2.1	Sebahagian Jadual Berkala	7
2.2	Penderia gas (bahan asas) serta beberapa contoh gas yang sesuai untuk dikesan	22
4.1	Kandungan dan peratusan bahan-bahan SnO <sub>2</sub> dengan ketulenan berbeza	45
4.2	Nilai pemisahan $d_{hkl}$ serta peratus keamatan relatif bagi bahan SnO <sub>2</sub> dengan ketulenan berbeza dibandingkan dengan data piawai (Kad ASTM 21-1250) bahan SnO <sub>2</sub> .	49
4.3	Nilai pemisahan $d_{hkl}$ serta peratus keamatan puncak-puncak saput tipis SnO <sub>2</sub> terhadap sampel tersedia (30°C) dan disepuh lindap pada suhu 200°C, 400°C dan 600°C selama 3 jam.	52
4.4	Nilai-nilai parameter kekisi ( $a$ dan $c$ ) serta nisbah $c/a$ bagi hablur saput tipis SnO <sub>2</sub> yang diperolehi daripada proses sepuh lindap.	54
4.5	Saiz butiran hablur saput tipis SnO <sub>2</sub> dengan ketebalan saput 522 nm yang disepuh lindap pada suhu 200°C, 400°C dan 600°C selama 3 jam.	56
4.6	Nilai jurang tenaga terhadap suhu sepuh lindap berbeza	61

4.7	Nilai-nilai $n$ , $k$ , $E_g$ dan $T_r$ pada julat panjang gelombang 500-650 nm terhadap sput dengan suhu 30°C, 200°C, 400°C dan 600°C.	65
4.8	Nilai jurang tenaga terhadap tebal sput SnO <sub>2</sub> berbeza-beza.	70
4.9	Nilai pemalar dielektrik, $\epsilon$ pada julat panjang gelombang 650-800 nm bagi ketebalan sput SnO <sub>2</sub> berbeza-beza.	78
4.10	Kerintangan, $\rho$ dan kekonduksian, $\sigma$ sput tipis SnO <sub>2</sub> (522 nm) bagi suhu sepuh lindap ( $T_s$ ) berbeza-beza pada suhu bilik.	80
4.11	Tenaga pengaktifan sput SnO <sub>2</sub> dalam dua julat suhu sepuh lindap.	84
4.12	Kerintangan sput tipis SnO <sub>2</sub> yang diukur pada suhu pemanasan berbeza-beza terhadap sput 30°C, 200°C, 400°C dan 600°C dalam keadaan vakum.	85
4.13	Tenaga pengaktifan, $\Delta E$ bagi sput dalam dua julat suhu pemanasan terhadap sput 30°C, 200°C, 400°C dan 600°C dalam vakum.	87
4.14	Tenaga pengaktifan, $\Delta E$ bagi sput dalam dua julat suhu pemanasan terhadap sput 30°C, 200°C, 400°C dan 600°C dalam ruang udara.	90
4.15	Tenaga pengaktifan, $\Delta E$ bagi sput dalam dua julat suhu pemanasan terhadap sput 30°C, 200°C, 400°C dan 600°C dalam ruang oksigen.	94
4.16	Nilai-nilai kerintangan sput SnO <sub>2</sub> yang disepuh lindap pada suhu 600°C diukur pada tekanan kebuk yang berbeza	111
4.17	Nilai-nilai kerintangan bagi sput suhu 600°C dalam ruang vakum dan dalam persekitaran udara	113
4.18	Nilai indeks $s$ yang dikira sebagai fungsi suhu dan frekuensi	140
4.19	Tenaga pengaktifan, $\Delta E$ yang diperolehi dalam tiga julat suhu pada frekuensi yang berbeza-beza.	142

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKASURAT
2.1	Sel unit struktur rutil timah (IV) oksida, SnO <sub>2</sub> dengan simetri tetragonal D <sub>4h</sub> <sup>14</sup>	8
2.2	Pencirian arus-voltan cas ruang terhad bahan penebat dengan perangkap cetek	15
2.3	Kesan Schottky menunjukkan penurunan sawar keupayaan disebabkan daya imej dan medan.	16
2.4	Saput tipis dengan elektrod	18
2.5	Fungsi penerima dan fungsi transduser penderia gas semikonduktor	21
2.6	Gambaran sentuhan dua zarah semikonduktor oksida dengan (a) Lapisan kedalaman dengan cas permukaan negatif (b) Sawar permukaan yang terhasil daripada sentuhan dua zarah semikonduktor oksida	25
2.7	Perubahan kerintangan terhadap kepekatan gas	26
3.1	Keratan rentas pam-resapan model Edward E306	29
3.2	(a) Bot molibdenum (bekas penyejat SnO <sub>2</sub> ) (b) Dawai tungsten (dawai penyejat aluminium)	35
3.3	Sampel pengukuran kerintangan	39
3.4	Susunan peralatan pengukuran arus-voltan	39
3.5	Sampel struktur terapit (Al-SnO <sub>2</sub> -Al)	41
3.6	Susunan peralatan pengukuran arus ulangalik dan arus terus	41

3.7	Gambarajah peralatan kriostat jenis Oxford DN 1704 (a) (Bahagian dalaman) (b) (Bahagian luaran)	42
3.8	Pengukuran arus-voltan dengan pengaliran gas	43
4.1	Corak belauan sinar-X ke atas bahan SnO <sub>2</sub> iaitu (X), (Y) dan (Z) dengan ketulenan berbeza.	47
4.2	Corak pembelauan sinar-X terhadap saput SnO <sub>2</sub> (30°C) dan yang disepuh lindap (suhu 200°C, 400°C dan 600°C) selama 3 jam dalam persekitaran atmosfera. Tebal saput adalah 522 nm.	48
4.3	Nilai parameter kekisi ( <i>a</i> dan <i>c</i> ) terhadap saput SnO <sub>2</sub> yang disepuh lindap pada suhu berbeza.	54
4.4	Kekisi bravais struktur tetragonal dan heksagonal dalam tiga dimensi	55
4.5	Graf saiz butiran hablur SnO <sub>2</sub> terhadap suhu sepuh lindap	56
4.6	Graf peratus kehantaran, <i>T<sub>r</sub></i> terhadap panjang gelombang, $\lambda$ , bagi saput tipis SnO <sub>2</sub> pada suhu bilik (30°C) dan yang disepuh lindap pada suhu 200°C, 400°C dan 600°C.	59
4.7	Graf pekali penyerapan, $\alpha^2$ terhadap tenaga foton, <i>E</i> bagi saput SnO <sub>2</sub> pada suhu bilik (30°C) dan yang disepuh lindap pada suhu (suhu 200°C, 400°C dan 600°C)	60
4.8	Perubahan indeks biasan, <i>n</i> pada julat panjang gelombang 500 - 650 nm terhadap saput suhu bilik (30°C) dan saput sepuh lindap pada suhu 200°C, 400°C dan 600°C.	63
4.9	Perubahan pemalar pemupusan, <i>k</i> terhadap julat panjang gelombang 300 - 800 nm bagi saput 30°C, 200°C, 400°C dan 600°C.	64
4.10	Perubahan <i>n</i> dan <i>k</i> , <i>E<sub>g</sub></i> dan <i>T<sub>r</sub></i> terhadap sampel tersedia dan yang disepuh lindap dipisahkan oleh tiga daerah yang dikenalpasti A (amorfus), B (polihablur SnO > SnO <sub>2</sub> ) dan C (polihablur SnO <sub>2</sub> > SnO) pada julat $\lambda$ 500-650 nm.	66

4.11	Perubahan spektrum kehantaran, $T_r$ terhadap panjang gelombang, $\lambda$ bagi saput tipis $\text{SnO}_2$ dengan ketebalan berbeza-beza.	69
4.12	Graf pekali penyerapan, $\alpha^2$ melawan tenaga foton, $E$ terhadap saput $\text{SnO}_2$ dengan ketebalan berbeza yang disediakan pada suhu bilik ( $30^\circ\text{C}$ ).	71
4.13	Perubahan jurang tenaga, $E_g$ terhadap tebal saput $\text{SnO}_2$ , $d$ .	72
4.14	Perubahan indeks biasan, $n$ terhadap panjang gelombang bagi saput $\text{SnO}_2$ dengan ketebalan berbeza-beza	74
4.15	Perubahan pemalar pemupusan, $k$ terhadap panjang gelombang bagi saput $\text{SnO}_2$ dengan berbagai ketebalan	75
4.16	Perubahan nilai indeks biasan, $n$ dan pemalar pemupusan, $k$ terhadap ketebalan saput pada panjang gelombang tinggi, $\lambda = 750 \text{ nm}$ .	76
4.17	Perubahan pemalar dielektrik, $\epsilon$ terhadap panjang gelombang	79
4.18	Perubahan kerintangan dan kekonduksian saput tipis $\text{SnO}_2$ terhadap saput suhu bilik ( $30^\circ\text{C}$ ) dan saput sepuh lindap ( $200^\circ\text{C}$ , $400^\circ\text{C}$ dan $600^\circ\text{C}$ ) yang diukur pada suhu bilik	82
4.19	Graf $\ln \rho$ melawan salingan suhu sepuh lindap, $1000/T_s$ bagi saput yang diukur pada suhu bilik.	83
4.20	Perubahan kerintangan saput tipis $\text{SnO}_2$ terhadap suhu pemanasan, $T_p$ berbeza bagi saput $30^\circ\text{C}$ , $200^\circ\text{C}$ , $400^\circ\text{C}$ dan $600^\circ\text{C}$ yang diukur dalam keadaan vakum.	86
4.21	Graf $\ln \rho$ melawan salingan suhu pemanasan, $1000/T_p$ bagi saput $30^\circ\text{C}$ , $200^\circ\text{C}$ , $400^\circ\text{C}$ dan $600^\circ\text{C}$ yang diukur dalam keadaan vakum.	88
4.22	Perubahan tenaga pengaktifan, $\Delta E$ terhadap suhu sepuh lindap, $T_s$ bagi dua julat suhu pemanasan dalam keadaan vakum	89

4.23	Perubahan kerintangan sput tipis $\text{SnO}_2$ terhadap suhu pemanasan, $T_p$ berbeza bagi sput $30^\circ\text{C}$ , $200^\circ\text{C}$ , $400^\circ\text{C}$ dan $600^\circ\text{C}$ yang diukur dalam persekitaran udara	91
4.24	Graf $\ln \rho$ melawan salingan suhu pemanasan, $1000/T_p$ bagi sput $30^\circ\text{C}$ , $200^\circ\text{C}$ , $400^\circ\text{C}$ dan $600^\circ\text{C}$ yang diukur dalam persekitaran udara.	92
4.25	Perubahan tenaga pengaktifan, $\Delta E$ terhadap suhu sepuh lindap, $T_s$ bagi dua julat suhu pemanasan dalam persekitaran udara	93
4.26	Perubahan kerintangan sput tipis $\text{SnO}_2$ terhadap suhu pemanasan, $T_p$ berbeza bagi sput $30^\circ\text{C}$ , $200^\circ\text{C}$ , $400^\circ\text{C}$ dan $600^\circ\text{C}$ yang diukur dalam persekitaran oksigen.	95
4.27	Graf $\ln \rho$ melawan salingan suhu pemanasan, $1000/T_s$ bagi sput $30^\circ\text{C}$ , $200^\circ\text{C}$ , $400^\circ\text{C}$ dan $600^\circ\text{C}$ yang diukur dalam persekitaran oksigen	96
4.28	Perubahan tenaga pengaktifan, $\Delta E$ terhadap suhu sepuh lindap, $T_s$ bagi dua julat suhu pemanasan dalam persekitaran oksigen	98
4.29	Tenaga pengaktifan sput $\text{SnO}_2$ dengan suhu sput $30^\circ\text{C}$ , $200^\circ\text{C}$ , $400^\circ\text{C}$ dan $600^\circ\text{C}$ pada julat suhu pemanasan tinggi (401-563 K) dalam keadaan vakum, udara dan oksigen	99
4.30	Perubahan kerintangan, $\rho/\rho_0$ terhadap masa dalam dedahan persekitaran (udara) bagi sput $30^\circ\text{C}$ , $200^\circ\text{C}$ , $400^\circ\text{C}$ dan $600^\circ\text{C}$	101
4.31	Perubahan kerintangan, $\rho/\rho_0$ terhadap masa dalam dedahan gas oksigen bagi sput $30^\circ\text{C}$ , $200^\circ\text{C}$ , $400^\circ\text{C}$ dan $600^\circ\text{C}$ .	103
4.32	Perubahan kerintangan, $\rho/\rho_0$ terhadap masa dalam dedahan gas helium bagi sput $30^\circ\text{C}$ , $200^\circ\text{C}$ , $400^\circ\text{C}$ dan $600^\circ\text{C}$	104



- 4.33 Perubahan kerintangan,  $\rho/\rho_0$  terhadap masa dalam dedahan gas oksigen, persekitaran (udara) dan gas helium bagi saput suhu bilik ( $30^\circ\text{C}$ ) 106
- 4.34 Perubahan kerintangan,  $\rho/\rho_0$  terhadap masa dalam dedahan gas oksigen, persekitaran (udara) dan gas helium bagi saput suhu bilik ( $200^\circ\text{C}$ ) 107
- 4.35 Perubahan kerintangan,  $\rho/\rho_0$  terhadap masa dalam dedahan gas oksigen, persekitaran (udara) dan gas helium bagi saput suhu bilik ( $400^\circ\text{C}$ ) 108
- 4.36 Perubahan kerintangan,  $\rho/\rho_0$  terhadap masa dalam dedahan gas oksigen, persekitaran (udara) dan gas helium bagi saput suhu bilik ( $600^\circ\text{C}$ ) 109
- 4.37 Perubahan kerintangan terhadap tekanan udara bagi saput yang disepuh lindap pada suhu  $600^\circ\text{C}$  yang diukur dalam kebuk vakum pada suhu bilik. 112
- 4.38 Perubahan kerintangan terhadap masa penyimpanan bagi saput  $\text{SnO}_2$  yang disepuh lindap pada suhu  $600^\circ\text{C}$  apabila disimpan dalam desikator (a) dan didedahkan dalam udarakasa (b) 115
- 4.39 Perubahan ketumpatan arus,  $J$  terhadap pertambahan nilai voltan,  $V$  bagi saput terapit  $\text{Al-SnO}_2\text{-Al}$  sebelum didedah dalam ruang desikator. Tebal saput  $\text{SnO}_2$  adalah 50 nm 117
- 4.40 Graf ketumpatan arus,  $J$  melawan kuasa dua voltan,  $V^2$  pada suhu bilik dengan tebal saput  $\text{SnO}_2$  adalah 50 nm. 119
- 4.41 Graf  $\ln \theta$  melawan salingan suhu ( $1/T$ ) saput terapit  $\text{Al-SnO}_2\text{-Al}$  yang tidak didedahkan. 120
- 4.42 Perubahan ketumpatan arus,  $J$  terhadap pertambahan nilai voltan,  $V$  bagi saput terapit  $\text{Al-SnO}_2\text{-Al}$  selepas didedah dalam ruang desikator selama 3 bulan. Tebal saput  $\text{SnO}_2$  adalah 50 nm. 122

4.43	Graf $\ln J$ melawan $V^{1/2}$ bagi saput terapit yang didedah dalam desikator selama 3 bulan dalam julat suhu 222 K hingga 297 K	124
4.44	Perubahan kecerunan, $m$ (daripada Rajah 4.43) terhadap salingan suhu $1/T$ bagi saput terapit Al-SnO <sub>2</sub> -Al yang didedah dalam desikator selama 3 bulan.	125
4.45	Perubahan ketumpatan arus, $J$ terhadap nilai voltan, $V$ bagi saput terapit sebelum dedahan dan selepas dedahan yang diukur pada suhu bilik.	127
4.46	Perubahan kapasitans, $C$ terhadap ketebalan saput SnO <sub>2</sub> pada frekuensi tetap 100 kHz.	129
4.47	Perubahan kapasitans, $C$ terhadap songsangan ketebalan saput SnO <sub>2</sub> pada frekuensi tetap 100 kHz. $C_p = 0.1556$ nF dan $\epsilon_r = 7.709$ .	130
4.48	Graf songsangan kapasitans, $1/C$ terhadap ketebalan saput SnO <sub>2</sub> pada frekuensi tetap 100 kHz. $C_s = 0.0256$ nF dan $\epsilon_r = 7.8468$	132
4.49	Model kapasitans selari dan sesiri.	133
4.50	Perubahan kapasitans terhadap frekuensi dalam julat suhu 180 - 300 K. Tebal saput SnO <sub>2</sub> adalah 50 nm.	134
4.51	Litar setara bagi susunan sampel terapit Al-SnO <sub>2</sub> -Al	135
4.52	Perubahan kapasitans terhadap perubahan suhu pada julat frekuensi 0.1 - 100 kHz. Tebal saput SnO <sub>2</sub> adalah 50 nm.	137
4.53	Perubahan kekonduksian $a$ u terhadap frekuensi pada julat suhu 180 - 300 K. Tebal saput tipis SnO <sub>2</sub> adalah 50 nm.	139
4.54	Perubahan kekonduksian $a$ u. $\sigma$ terhadap salingan suhu pada julat frekuensi berbeza.	141
4.55	Perubahan kecerunan graf pada Rajah 5.35 (s) terhadap perubahan suhu dalam julat frekuensi 100 - 400 Hz.	143
4.56	Perubahan lesapan dielektrik, $\tan \delta$ terhadap frekuensi pada julat suhu 180-300 K. Tebal saput SnO <sub>2</sub> = 50 nm.	146

## SENARAI SIMBOL

$a$	-	pemalar kekisi
$A$	-	pemalar kekonduksian
$A_1$	-	bacaan penganalisis pertama
$A_2$	-	bacaan penganalisis kedua
$A^*$	-	pemalar Richardson
$A_r$	-	penyerapan
AES	-	Spektroskopi Elektron Auger
$A$	-	luas kawasan berkesan atau aktif
$\alpha$	-	pemalar penyerapan optik
$\beta_1$ $\vdots$	-	lebar setengah puncak
$\beta_{PF}$	-	pekali penurunan medan Poole-Frenkel
$\beta_s$	-	pekali penurunan sawar Schottky
$c$	-	pemalar kekisi
$C$	-	kapasitans
$C_p$	-	kapasitans selari
$C_s$	-	kapasitans sesiri
$C_m$	-	kapasitans unggul
$C_s$	-	kapasitans keseluruhan
$d$	-	ketebalan saput
$d$	-	jarak kekisi
$d_{hkl}$	-	nilai pemisahan
$e$	-	cas elektron
$\epsilon_0$	-	ketelusan ruang bebas
$\epsilon_r$	-	ketelusan relatif bahan

$D_{hkl}$	-	saiz hablur
$\Delta$	-	beza fasa
$\Delta E$	-	tenaga pengaktifan
$E$	-	medan elektrik
$E_s$	-	paras penerima
$E_d$	-	paras penderma
$E_g$	-	jurang tenaga
$E_t$	-	kedalaman perangkap
$f$	-	frekuensi
$h$	-	pemalar Planck
$I$	-	keamatan sinar yang terpancar
$I_o$	-	keamatan sinar yang menuju saput
$I/I_o$	-	keamatan relatif
$J$	-	ketumpatan arus
$J_o$	-	ketumpatan arus medan rendah
$k$	-	nombor gelombang
$k$	-	pemalar Boltzmann
$k$	-	pemalar pemupusan
$K$	-	faktor uniti
$L$	-	lapisan kedalaman
$\lambda$	-	panjang gelombang
$m$	-	bilangan ayunan di antara dua ekstrima yang terjadi pada $\lambda$ dan $\lambda$
$n$	-	tertib
$n_o$	-	kepekatan elektron
$n$	-	indek biasan
$n_c$	-	indeks biasan kompleks
$N_c$	-	ketumpatan keadaan berkesan dalam bahan
$N_D$	-	ketumpatan penderma
$N_J$	-	ketumpatan permukaan yang dijerap oksigen
$N_t$	-	kepekatan perangkap

$N$	-	ketumpatan gas yang dijerap
$\rho$	-	kerintangan
$\rho_0$	-	kerintangan pra-eksponen
$P_1$	-	bacaan pengkutub pertama
$P_2$	-	bacaan pengkutub kedua
$P_{udara}$	-	tekanan udara
$q$	-	cas ion
$r$	-	jarak kedudukan berhampiran
$r$	-	rintangan elektrod
$R_r$	-	pemalar pantulan
$R$	-	rintangan dalaman saput
$R^*$	-	parameter rintangan
$R_{ch}$	-	rintangan keping
$R_r$	-	pantulan
$s$	-	indeks eksponen
$\sigma$	-	kekonduksian
$\sigma_0$	-	kekonduksian medan rendah
$T$	-	suhu mutlak
$T_s$	-	suhu sepuh lindap
$T_p$	-	suhu pemanasan
$T_r$	-	Pemancaran
$t$	-	masa dedahan
$t_0$	-	masa dedahan dengan $\rho$ bertambah secara logarithma
$t_0$	-	masa rehat berkesan
$\tan \delta$	-	lesapan dielektrik
$\theta$	-	sudut Bragg
$\theta$	-	nisbah cas bebas terhadap cas terperangkap
$\phi_c$	-	tenaga keupayaan elektron dalam medan coulomb
$\phi_i$	-	tenaga keupayaan oleh daya imej

$\phi_{PF}$	-	sawar Poole-Frenkel
$\phi_s$	-	sawar Schottky
$\phi_u$	-	sawar keupayaan
$\psi$	-	sudut azimat
$u$	-	parameter dalaman
$\mu$	-	mobiliti pembawa / kelincahan
$\nu$	-	frekuensi cahaya
$V$	-	voltan
$V_T$	-	voltan transisi
$V_{TFL}$	-	voltan ambang
$W_m$	-	tinggi sawar yang dipisahkan oleh jarak pasangan
$x$	-	jarak elektron dari permukaan logam
$X$	-	saiz kehelan
$\omega$	-	frekuensi sudut
$\omega_{min}$	-	frekuensi minimum.

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>LAMPIRAN</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKASURAT</b>
Lampiran A	Data Piawai Kad ASTM 21-1250 bahan SnO <sub>2</sub>	162
Lampiran B	Data Piawai Kad ASTM 6-395 bahan SnO	163
Lampiran C	Data Piawai Kad ASTM 4-673 bahan Sn	164

## **BAB I**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Pengenalan**

Kajian terhadap perilaku fizik sesuatu bahan telah diselidiki hampir seratus tahun yang lalu. Kini kajian ke atasnya telah meluas kepada beberapa cabang tertentu dengan setiap satunya berbeza antara satu dengan yang lain. Keadaan ini berlaku kerana perkembangan sains dan teknologi yang amat pantas. Salah satu cabang fizik yang semakin meluas sekarang adalah bidang saput tipis.

#### **1.2 Saput tipis**

Saput tipis adalah lapisan bahan pepejal samada logam, semikonduktor atau penebat yang sangat nipis dengan ketebalan diantara beberapa nanometer ( $10^{-9}$ m) dan mikrometer ( $10^{-6}$ m) yang diselaputkan di atas substrat (bahan sokong). Ia terbentuk secara kondensasi atom, molekul atau wap pada suhu permukaan substrat dan dalam keadaan persekitaran tertentu. Ketipisannya telah menghasilkan beberapa sifat berbeza dengan sifat pukalnya, di antaranya adalah mempunyai sifat yang boleh dikawal, saiz boleh dimampat atau dikecilkan, hanya menggunakan tenaga elektrik yang kecil, lebih ekonomi berbanding bahan pukal dan dapat disediakan secara komersial (Samsudi Sakrani, 1996).



### 1.2.1 Mekanisme pembentukan

Mekanisme pembentukan saput tipis berbeza daripada satu kaedah penyediaan dengan kaedah penyediaan yang lain. Secara umum, ia bergantung kepada interaksi atom-atom dalam pertumbuhan saput dan antara atom-atom dengan substrat yang digunakan sebagai bahan sokong. Ia terbahagi kepada tiga keadaan berbeza mengikut : (a) pertumbuhan lapisan demi lapisan (mekanisme van der Merve), (b) nukleasi tiga dimensi ; pembentukan, pertumbuhan dan percantuman pulau-pulau (mekanisme Volmer-Weber) dan (c) penyerapan ekalapis dan jujukan nukleasi pada lapisan atas (mekanisme Stranski-Krastanov). Dalam kebanyakan keadaan, mekanisme yang diambilkira adalah (b) (Eckertova, 1986)

Peringkat pertumbuhan saput tipis boleh diperolehi melalui cerapan imbasan elektron mikroskopi terhadap saput yang telah disejatkan. Peringkat pertumbuhan terbahagi kepada empat peringkat. Peringkat pertama adalah penukleasan titik-titik kecil atom atau wap yang dijerap pada permukaan substrat dan bersatu dengan rantau yang stabil. Peringkat kedua adalah pembentukan rantau atau pulau yang berlaku dalam masa singkat dengan angkutan jisim hampir  $10^{18}$  atom  $\text{cm}^2 \text{s}^{-1}$ . Pulau-pulau tadi semakin besar dan membentuk struktur jaring yang mengandungi terusan dikenali sebagai lubang profil hablur. Peringkat terakhir adalah proses pengisian terusan oleh penyejatan yang berterusan sehingga saput tipis yang seragam terhasil.

### 1.2.2 Kaedah penyediaan

Umumnya saput tipis disediakan dengan kaedah fizik dan kaedah kimia. Kaedah fizik melibatkan proses penjanaan wap bahan daripada fasa terkondensasi cecair atau pepejal, perpindahan wap bahan daripada sumber sejatan ke substrat dan kondensasi wap bahan ke atas permukaan substrat untuk membentuk saput. Proses tersebut selalunya terlibat dalam teknik penyejatan atau percikan. Penyejatan adalah satu teknik yang agak lama telah digunakan. Binaan asasnya terdiri daripada kebuk

vakum, sistem pam resapan dan pam putaran (Karim Deraman, 1996). Ini dibincangkan secara terperinci dalam bab IV.

Kaedah pemendapan secara kimia pula melibatkan pembentukan saput hasil daripada tindakbalas bahan kimia melalui bantuan terma. Kesan terma keatas pemendapan wap bahan kimia membantu mempercepatkan tindakbalas jujuk bahan berlaku dengan sempurna. Salah satu kaedah kimia fasa gas yang agak popular adalah teknik pemendapan wap bahan kimia (CVD) (Karim Deraman, 1996).

### 1.2.3 Kegunaan saput tipis

Kegunaan saput tipis terutamanya dalam industri elektronik telah mengalami perkembangan yang pesat sekali. Kepesatan yang berlaku kini menunjukkan bahawa berbagai-bagai peralatan yang serba canggih telah direka cipta. Perubahan saiz dimensi kamera, kalkulator dan komputer adalah sebahagian besarnya merupakan sumbangan saput tipis. Teknologi saput tipis merangkumi bidang berbagai disiplin seperti sains bahan, fizik keadaan pepejal, semikonduktor, kimia dan kejuruteraan elektronik. Ia menjadi penting dengan berkembangnya peralatan elektronik serba canggih yang memerlukan gabungan komponen-komponen elektronik yang lebih kompleks untuk menghasilkan litar terkamil atau cip bagi komputer dan robot.

Dalam bidang mikroelektronik, berbagai-bagai komponen saput tipis samada pasif seperti perintang atau aktif contohnya diod telah dibina. Keadaan tersebut memberikan kelebihan kepada peralatan berkenaan apabila sedikit sahaja tenaga diperlukan untuk mengoperasinya. Dalam bidang optoelektronik pula, penderia saput tipis seperti penderia gas telah dibangunkan berasaskan kepada bahan tertentu terutamanya logam oksida, seperti Pd-La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Noboru dan Norio, 1992), ferik oksida, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Kohl, 1992) dan timah (IV) oksida, SnO<sub>2</sub> (Dermarne dan Sanjines, 1992).

Dalam kajian ini bahan yang digunakan adalah timah (IV) oksida,  $\text{SnO}_2$ . Ia merupakan semikonduktor generat jenis-n dengan jurang tenaga adalah sekitar 2.2 eV hingga 3.93 eV (Melsheimer dan Ziegler, 1985). Kajian keatas saput tipis pengkonduksi lutsinar  $\text{SnO}_2$  telah menarik minat ramai penyelidik kerana penggunaannya yang meluas dalam teknologi saput tipis. Ia boleh digunakan sebagai pelindung sinaran terma. Kepantulannya yang tinggi dalam julat inframerah (IR) adalah menyamai beberapa bahan logam. Ia juga memancarkan haba dengan baik walaupun dalam keadaan penebat. Oleh yang demikian, ia mempunyai penggunaan meluas dalam penukaran tenaga terma-suria, pemanasan suria, cermin haba dan penebat terma dalam lampu. Sel suria hetero-simpang dengan lapisan lutsinar pengkonduksi mengakibatkan kebarangkalian memfabrikasi sel suria adalah dengan harga murah. Sel suria ini boleh meningkatkan kepekaan dalam daerah bertenaga foton tinggi spektrum suria (Barsan *et al.*, 1989). Selain dari itu ia juga digunakan untuk mengesan gas toksik dan gas penurunan dalam udara seperti karbon monoksida ( $\text{CO}$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ) dan hidrogen ( $\text{H}_2$ ). Kekonduksiannya yang berubah dalam saput menyebabkan perubahan dalam ketumpatan pembawa dan ini membolehkan spesis gas diserap kepada permukaan bahan (Noboru dan Norio, 1992).

### 1.3 Skop kajian

Kajian terdahulu menunjukkan saput tipis  $\text{SnO}_2$  telah disediakan secara penyejatan terma (Demiryont dan Nietering, 1989 dan Rahman *et al.*, 1987), percikan (Advani dan Jordan, 1980), semboran pirolisis (Karim Deraman, 1986) dan cetakan skrin (Noboru dan Norio, 1992 dan Bessais *et al.*, 1993). Penggunaan pelbagai teknik penyediaan tersebut telah menghasilkan saput tipis yang mempunyai sifat berbeza. Kebanyakan kajian hanya ditumpukan kepada sifat elektrik arus terus, sifat optik dan struktur saput dan boleh dikatakan amat kurang penyelidikan dilakukan keatas ciri ketumpatan arus-voltan (J-V), pengukuran kekonduksian arus ulangalik (a.u) dan kesan pendedahan persekitaran (atmosfera dan gas). Justeru itu, satu kajian perlu dilakukan bagi mendapatkan maklumat tentang aspek yang telah dinyatakan. Disamping pengukuran sifat struktur dan sifat optik untuk dibandingkan dengan

keputusan yang telah diperolehi oleh penyelidik lain. Data yang diperolehi amat berguna bagi mendapatkan maklumat awal tentang kemungkinan penggunaan saput tipis  $\text{SnO}_2$  sebagai penderia gas. Secara keseluruhan, objektif kajian ini boleh dibahagikan kepada beberapa bahagian iaitu

- 1) Menyediakan saput tipis polihablur  $\text{SnO}_2$  pada suhu sepuh lindap berbeza-beza.
- 2) Mengkaji perubahan kerintangan saput tipis  $\text{SnO}_2$  dalam dedahan gas oksigen, helium dan udara sebagai asas dalam fabrikasi penderia gas.
- 3) Mencirikan sifat optik  $\text{SnO}_2$  berdasarkan kesan suhu sepuh lindap dan kesan ketebalan saput.
- 4) Mengkaji perubahan  $J$ - $V$  ke atas struktur terapit  $\text{Al-SnO}_2\text{-Al}$  sebelum dan selepas dedahan dalam desikator.
- 5) Mengukur sifat dielektrik bahan  $\text{SnO}_2$  pada suhu bilik.

Tesis ini terbahagi kepada lima bab. Bab II menerangkan tentang sifat  $\text{SnO}_2$  iaitu sifat struktur, sifat optik dan sifat elektrik serta penggunaannya sebagai penderia gas, cermin haba dan sel suria. Bab III membincangkan eksperimen yang dilakukan keatas saput  $\text{SnO}_2$  bermula daripada peralatan yang digunakan, penyediaan sumber dan bahan, proses sepuh lindap serta beberapa pengukuran keatas bahan. Bab IV memaparkan hasil eksperimen dan perbincangan ke atas hasil yang diperolehi. Akhir sekali keseluruhan kajian diringkas dan disimpulkan dalam Bab V beserta dengan cadangan untuk penyelidikan seterusnya.

## RUJUKAN

- Abdel-Malek, T. G., Abdel-Latif, R. M., El-Shabasy, M. dan Abdel-Hamid, M. (1986). "Compensation Effect In The Electrical Conduction Process In Phthalocyanines." Indian J. Phys. 62A ; 17-23.
- Advani, G. N. dan Jordan, A. G. (1980). "Thin Films Of SnO<sub>2</sub> As Solid State Gas Sensors." Journal Of Electronic Materials, 9 ; 20-49.
- Amanah Mustakimah (1996). Pencirian Optik Dan Elektrik Saput Tipis Kadmium Sulfida. Tesis Sarjana, Universiti Teknologi Malaysia.
- Bakar Ismail (1990). Electrical Conductivity Measurement In Evaporated Cadmium Telluride Thin Films. Tesis Ph. D, University Of Keele.
- Bakar Ismail Dan Gould, R. D. (1989). "Structural And Electronic Properties Of Evaporated Thin Films Of Cadmium Telluride ." Physica Status Solidi 115 ; 237-245.
- Bakar Ismail dan Gould, R. D. (1995). "Trapping Parameters In Evaporated Cdte Thin Films Showing Space-Charge-Limited Conductivity." Int. J. Electronics 78 ; 261-266.
- Barsan, N., Grigorovici, R., Kohl, D dan Lampe, U. (1989). "Mechanism Of Gas Detection In Polycrystalline Thick Film SnO<sub>2</sub> Sensors." Thin Solid Films 171 ; 53-63.

- Bessais, B., Ezzaouia, H., dan Bennaceur, R. (1993). "Electrical Behaviour And Optical Properties Of Screen-Printed ITO Thin Films." Semicond. Sci. Technol. 8 ; 1671-1678.
- Butta, N., Melli, M. dan Pizzini, S. (1990). "Influence Of Surface Parameters And Doping On The Sensitivity And On The Response Times Of Tin Oxide Resistive Sensors." Sensors And Actuators B. 2 ; 151-161.
- Chambouleyron, I dan Saucedo, E. (1979). Solar Energy Materials. 1 ; 299.
- Chopra, K. L. (1969). Thin Film Phenomena. New York : Mcgraw-Hill.
- Chopra, K. L. dan Kaur, I. (1983). Thin Film Device Application. New York : Plenum Press.
- Chopra, K. L., Major, S. dan Pandya, D. K. (1983). "Transparent Conductors-A Status Review." Thin Solid Films 102 , 1-46.
- Cullity, B. D. (1956). Elements Of X-Ray Diffraction. Addison-Wesley ; 96-99
- Demarne, V. dan Sanjines, R. (1992). "Thin Film Semiconducting Metal Oxide Gas Sensors." Dalam : G. Sberveglieri. Gas Sensors - Principles, Operation And Developments. London : Kluwer Academic ; 89-116.
- Demiryont, H. dan Nietering, K. E. (1989). "Structure And Optical Properties Of Tin Oxide Films." Solar Energy Materials. 19 ; 79-94.
- Eckertova, L. (1986). Physics Of Thin Films. 2nd. Ed. New York And London : Plenum Press.

- Elliott, S. R. (1977). "A Theory Of AC Conduction In Chalcogenide." Phil. Magazine, 36 ; 1291-1304.
- El-Nahas, M. M. (1992). "Optical Properties Of Tin Diselenide Films." Journal Of Materials Science. 27 ; 6597-6604.
- Evans, B. L. dan Hazelwood, R. A. (1969). "Optical And Electrical Properties Of SnSe<sub>2</sub>." British Journal Of Applied Physics (Journal Of Physics D). 2 , 1507-1516.
- George, J dan Joseph, K. S. (1983). "Effect Of Heating On The Electrical And Optical Properties Of Tin Disulphide Thin Films." Journal Of Physics D: Applied. Physics, 16 ; 33-38.
- Gopel, W. (1992). "Future Trends In The Development Of Gas Sensors." Dalam : G. Sberveglieri. Gas Sensors - Principles, Operation And Developments. London : Kluwer Academic ; 365-410.
- Goswami, A. dan Goswami, A.P. (1973). "Dielectric And Optical Properties Of ZnS Films." Thin Solid Films, 16 ; 175-185.
- Gould, R. D., Gravano. S. dan Bakar Ismail. (1991). "A Model For Low Frequency Capacitance In Cadmium Telluride Thin Films." Thin Solid Films, 198 ; 93-102.
- Groose, P. dan Schmitte F. J. (1982). "Preparation And Growth Of SnO<sub>2</sub> Thin Films And Their Optical And Electrical Properties." Thin Solid Films, 90 ; 309-315.
- Heavens, O. S. (1955). Optical Properties Of Thin Solid Films. London : Butterworth.

- Heavens, O. S. (1970). Thin Film Physics. 1st. Ed. Great Britain : Keypools Ltd.
- Instruction Manual FTM (1992). Edwards High Vacuum International.
- Jarzebski, Z. M. (1973). Oxide Semiconductor. 4th. Ed. Oxford, New York : Pergamon Press.
- Iqbal, T dan Hogarth, C. A. (1986). "Space-Charge-Limited-Currents In Evaporated Polypropylene." International Journal of Electronics. 61(5) ; 555-559.
- Karim Deraman. (1986). Sifat-Sifat Struktur, Optik Dan Elektrik Saput Timah Oksida. Tesis Sarjana, Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Karim Deraman, Samsudi Sakrani dan Bakar Ismail. (1995). "Masking System For Multilayer Thin Film Preparations." Malaysian Journal Of Solid State Science And Technology Letters. Vol 2.
- Karim Deraman (1996). "Penyediaan Saput Tipis." Kursus Teknologi Bahan. Universiti Teknologi Malaysia. 29-30 Oktober.
- Khairunnisa Sulaiman (1996). "Sains Dan Teknologi : Awas! Pembunuh Senyap Di Rumah". Majalah Massa. 13 Julai ; 50-51.
- Kohl, D. (1989). "Catalytic Reaction And Electronic Process Relevant In Gas Sensing." Sensors And Actuators. 17 ; 309-311.
- Kohl, D. (1992). "Oxidic Semiconductor Gas Sensors." Dalam : G. Sberveglieri. Gas Sensors - Principles, Operation And Developments. London : Kluwer Academic ; 43-88.
- Lampert, C. M. (1981). "Heat Mirror Coatings For Energy Conserving Windows." Solar Energy Materials. 6 ; 1-41.



- Lantto, V. (1992). "Semiconductor Gas Sensors Based On SnO<sub>2</sub> Thick Films." Dalam : G. Sberveglieri. Gas Sensors - Principles, Operation And Developments. London : Kluwer Academic ; 117-167.
- Lu, C dan Czanderna, A. W. (1984). Applications Of Piezoelectric Quartz Crystal Microbalance. New York : Elsevier.
- Manificier, J. C., De Murcia, M. dan Fillard J. P. (1977). "Optical And Electrical Properties Of SnO<sub>2</sub> Thin Films In Relation To Their Stoichiometric Deviation And Their Crystalline Structure." Thin Solid Films, 41 : 127-135.
- Manificier, J. C. (1982). "Thin Metallic Oxides As Transparent Conductors." Thin Solid Films, 90 : 297-308.
- Mark, P. (1965) Journal Physics Chemistry Solids, 26 : 959-961.
- Melsheimer, J. dan Tesche, B. (1986). "Electron Microscopy Of Sprayed Thin Tin Oxide Films." Thin Solid Films, 138 : 71-78.
- Melsheimer, J. dan Ziegler, D. (1985). "Band Gap Energy And Urbach Tail Studies Of Amorphous, Partially Crystalline And Polycrystalline Tin Oxide." Thin Solid Films, 129 : 35-47.
- Morrison, S. R. (1977). The Chemical Physics Of Surfaces. 2<sup>nd</sup> Ed. New York And London : Plenum Press.
- Moseley, P. T., dan Williams, D. E. (1991). "Oxygen Surface Species On Semiconducting Oxides". Dalam : Techniques And Mechanisms In Gas Sensing. New York : IOP Publisher.

- Moseley, P. T., Stoneham, A. M. dan Williams, D. E. (1991). "Oxide Semiconductors: Patterns Of Gas Response Behaviour According To Material Type". Dalam : Techniques And Mechanisms In Gas Sensing. New York : IOP Publisher.
- Mott, N. F., dan Gurney, R. W. (1948). Electronic Processes In Non-Crystalline Materials. 2<sup>nd</sup> Ed. Oxford : Oxford University Press.
- Muhammad Yahaya (1989). Pengenalan Fizik Keadaan Pepejal. Cetakan Pertama Selangor : Dewan Bahasa Dan Pustaka.
- Muhammad Yahaya (1997). Teknologi Filem Nipis. Cetakan Pertama. Selangor : Universiti Kebangsaan Malaysia.
- Mustaffa Hj. Abdullah. (1990). Sifat Dan Kegunaan Semikonduktor. Cetakan Pertama. Kuala Lumpur : Dewan Bahasa Dan Pustaka.
- Mustaffa Hj. Abdullah. (1991). Sains Bahan. Jilid 1. Kuala Lumpur : Dewan Bahasa Dan Pustaka.
- Noboru, Y. dan Norio, M. (1992). "New Approaches In The Design Of Gas Sensors." Dalam : G. Sberveglieri. Gas Sensors - Principles, Operation And Developments. London : Kluwer Academic ; 1-42.
- Noordin Ibrahim (1990). Siri Fizik Prauniversiti-Optik. Kuala Lumpur : Dewan Bahasa Dan Pustaka.
- Pankove, J. I. (1971). Optical Processes In Semiconductors. Englewood : Prentice Hall.

- Patel, N. G., Panchal, C. J. dan Makhija, K. K. (1994). "Use Of Cadmium Selenide Thin Films As A Carbon Dioxide Gas Sensor." Cryst. Res. Technol. 29 ; 1013-1020.
- Pollak, M. dan Geballe, T. H. (1961). "Low-Frequency Conductivity Due To Hopping Processes In Silicon." Physical Review. 122 ; 1742-1752
- Ragunath, R. S. dan Mallik, A. K. (1987). "UV Absorption Studies Of Undoped And Fluorine-Doped Tin Oxide Films." Thin Solid Films. 140 ; 117-118
- Rahman S. Md. S., Islam M. H. dan Hogarth C. A. (1987). "AC Electrical Properties Of Vacuum-Evaporated SiO/SnO<sub>2</sub> Films." Int. J. Electronics, 62 ; 167-179.
- Ray, B. (1969). II-IV Compounds. Cetakan Pertama, Oxford : Pegamon Press.
- Sabar, D. Hutagalung (1997). "Kajian Semikonduktor Saput Tipis Timah Selenida Dan Timah Diselenida". Tesis Ph. D. Universiti Teknologi Malaysia.
- Samsudi Sakrani. (1987). Pengenalan Fizik Vakum. Cetakan Pertama. Kuala Lumpur : Dewan Bahasa Dan Pustaka.
- Samsudi Sakrani (1996). "Pencirian Saput Tipis". Kursus Teknologi Bahan. Universiti Teknologi Malaysia. 29-30 Oktober.
- Sanjines, R. dan Levy, F. (1990). "Some Aspects Of The Interaction Of Oxygen With Polycrystalline SnO<sub>x</sub> Thin Films". Sensors And Actuators B. 2 ; 176-182.
- Sanon, G., Rup, R. dan Mansingh, A. (1990). "Growth And Characterization Of Tin Oxide Films Prepared By Chemical Vapour Deposition". Thin Solid Films. 190 ; 287-301.

- Schierbaum, K. D., Weimar, U. dan Gopel, W. (1990). "Multicomponent Gas Analysis: An Analytical Chemistry Approach Applied To Modified SnO<sub>2</sub> Sensors." Sensors And Actuators B. 2 ; 71-78.
- Sebastian, P. J. (1994). "The Transport And Optical Properties Of CdSe-CdTe Pseudobinary Thin Films." Thin Solid Films. 245 ; 132-140.
- Sebastian, P. J dan Sivaramakrishnan, V. (1990). Thin Solid Films. 189 ; 183-185.
- Shackelford, J. F. (1996). Introduction To Materials Science For Engineers. 4 Th. Ed. New Jersey : Prentice-Hall.
- Shanti, E., Banerjee, A., Dutta, V dan Chopra, K. L. (1980). Thin Solid Films. 71 ; 237.
- Shihub, S. I. dan Gould, R. D. (1993). "Frequency Dependence Of Electronic Conduction Parameters In Evaporated Thin Films Of Cobalt Phthalocynine." Thin Solid Films. 224 ; 124.
- Simmons, J. G., Nadkarni, G. S. dan Lancaster, M. C. (1970). Journal Applied Physics. 41 ; 538.
- Taverner, A. E., Rayden, C., Warren, S., Gulino, A., Cox, P. A. dan Egdell, R. G. (1995). "Comparison Of The Energies Of Vanadium Donor Levels In Doped SnO<sub>2</sub> And TiO<sub>2</sub>." Physical Review B. 51 ; 6833-6837.
- Tauc, J. (1970). "Adsorption Edge And Internal Electric Fields In Amorphous Semiconductors." Material Research Bulletin. 5 ; 721-730.
- Van Der Pauw, L. J. (1958). "A Method Of Measuring Specific Resistivity And Hall Effect Of Discs Of Arbitrary Shape." Philips Research Reports. 13 ; 1-9.

- Van Der Ziel, A. (1976). Solid State Physical Electronics. Third Edition. Eaglewood : Prentice Hall.
- Vidadi, Yu. A., Rozenshtein, L. D. dan Chistyakov, E. A. (1969). "Hopping And Band Conductivities In Organic Semiconductors." Physics Solid State. 11 ; 173-175.
- Vidadi, Yu. A., Kocharli, K. Sh., Barkhalov, B. Sh. dan Sadreddinov, S. A. (1976). "Alternating Current Investigation Of Copper Phthalocyanine Films In The Presence Of Blocking Contacts." Phys. Solid State. 34 ; 77-81.
- Wan Haliza Abd. Majid (1991). Electronic Transition Of Characteristic Energies In Semiconducting Tin Oxide. Tesis Sarjana, Universiti Malaya.
- Wanlu Wang dan Kejun Liao. (1991) "Influence Of Heat Treatment In Different Atmosphere On The Photoluminescence Of SnO<sub>2</sub> Films." Thin Solid Films. 195 ; 193-198.
- Williams, E. W., Lawlor, C. M., Keeling, A. G. dan Gould, R. D. (1994). "Novel Room Temperature Carbon Monoxide Sensor Utilizing Rate Of Change Of Resistance In Thick Films Of Tin Oxide." Int. J. Electronics. 76 ; 815-820.
- Yoshihiko Sadaoka (1992). "Organic Semiconductor Gas Sensors." Dalam : G. Sberveglieri. Gas Sensors - Principles, Operation And Developments. London : Kluwer Academic ; 187-218.
- Zulkafli Othaman (1996). "Teknologi Semikonduktor". Kursus Teknologi Bahan Universiti Teknologi Malaysia. 29-30 Oktober.
- Ziad Tarik Al-Dhhan (1988). "Dielectric Properties Of Thin Films Based On CeO<sub>2</sub>." Tesis Ph. D, Brunel University, United Kingdom.