

## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	iii
Halaman Pernyataan	v
Halaman Persembahan	vi
<b>KATA PENGANTAR</b>	vii
<b>DAFTAR ISI</b>	x
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xiii
<b>DAFTAR SIMBOL</b>	xvi
<b>INTISARI</b>	xix
<b>ABSTRACT</b>	xx
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Hasil Penelitian	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	6
2.1. Fenomena <i>Sputtering</i>	6
2.2. Klasifikasi Proses Deposisi	7
2.3. Sistem <i>Sputtering</i>	8
2.4. Tumbukan Ion Terhadap Permukaan Target	11
2.5. Hasil <i>Sputtering</i>	13
2.6. Proses Pembentukan Lapisan Tipis	15
2.7. Struktur Kristal	20
2.8. Sifat-Sifat Fisis ZnO	22
2.9. Donor Alami ( <i>Native</i> )	23
2.10. Sifat-Sifat Listrik	27
2.11. Sifat-Sifat Optik	29

<b>BAB III METODE PENELITIAN</b>	<b>38</b>
3.1. Bahan dan Peralatan Penelitian	38
3.1.1. Bahan penelitian	38
3.1.2. Peralatan penelitian	38
1) Alat deposisi lapisan tipis	38
2) Alat-alat karakterisasi	40
a) Alat uji orientasi kristal dengan XRD	40
b) Alat uji struktur mikro dengan SEM	43
c) Alat ukur transmitansi dengan spektrofotometer UV-Vis	43
d) Alat ukur resistansi dengan probe empat titik	44
3.2. Pelaksanaan Penelitian	45
3.2.1. Persiapan target dan substrat	45
3.2.2. Proses deposisi lapisan tipis	46
3.2.3. Karakterisasi lapisan tipis ZnO dan ZnO:Al	47
a) Pengujian orientasi kristal	47
b) Pengujian struktur mikro	48
c) Pengukuran transmitansi	50
d) Pengukuran resistansi	50
3.3. Teknik Analisis Data	51
a) Penentuan orientasi kristal	51
b) Penentuan struktur mikro	52
c) Penentuan transmitansi, indeks bias dan ketebalan lapisan tipis	52
1) Penentuan transmitansi	52
2) Penentuan indeks bias dan ketebalan lapisan tipis dengan metode optik	53
d) Penentuan resistansi dengan metode I-V	54
3.4. Alur Metode Penelitian	55
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>57</b>
4.1. Orientasi Kristal Lapisan Tipis ZnO Dan ZnO:Al	57

4.2. Struktur Mikro, Komposisi Unsur Lapisan Tipis ZnO Dan ZnO:Al	66
4.3. Karakterisasi Sifat Optik Lapisan Tipis ZnO Dan ZnO:Al	71
4.4. Karakterisasi Sifat Listrik Lapisan Tipis ZnO Dan ZnO:Al	81
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	87
5.1. Kesimpulan	87
5.2. Saran	88
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	90
<b>LAMPIRAN</b>	93

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1. Pelepasan atom-atom permukaan target dalam <i>sputtering</i>	7
Gambar 2.2. Skema proses deposisi lapisan tipis	7
Gambar 2.3. Skema <i>DC sputtering</i>	9
Gambar 2.4. Tumbukan ion pada permukaan target	12
Gambar 2.5. Hasil <i>sputtering</i> terhadap energi ion penumbuk	14
Gambar 2.6. Mekanisme penggabungan (a) <i>ripening ostwald</i> (b) mobilitas <i>cluster</i> (c) penggabungan dengan pertumbuhan	19
Gambar 2.7. Penggabungan pulau	20
Gambar 2.8. (a) Kisi kristal, dengan sebuah sel satuan digaris tebal (b) Sel satuan dengan vektor kisi $a', b', c'$ , konstanta kisi $a', b', c'$ dan sudut antar sumbu $\alpha, \beta$ dan $\gamma$	21
Gambar 2.9. Struktur ZnO (a) Struktur kristal <i>wurzite</i> dengan simetri 6-mm (b) Model ZnO dengan atom seng digambarkan sebagai bola-bola besar dan atom oksigen sebagai bola-bola kecil	23
Gambar 2.10. Model ketakaturan kisi dalam subkisi kation	24
Gambar 2.11. Model ketakaturan kisi dalam subkisi anion	26
Gambar 2.12. Skema pita ZnO pada suhu kamar dengan level cacat intrinsik	27
Gambar 2.13. Penghantar yang dialiri arus	28
Gambar 2.14. Pemantulan dan penerusan gelombang elektromagnetik pada perbatasan dua medium (a) terpolarisasi-s, $\vec{E}_1, \vec{E}_1', \vec{E}_2$ keluar bidang gambar (b) terpolarisasi-p, $\vec{B}_1, \vec{B}_1', \vec{B}_2$ masuk ke bidang gambar	30
Gambar 2.15. Skema pemantulan dan penerusan melalui lapisan tipis	33
Gambar 2.16. Refleksi dan transmisi ganda suatu cahaya datang dalam lapisan tipis dengan amplitudo ditentukan oleh koefisien Fresnel dan pergeseran fase $\delta$	34
Gambar 3.1. Skema alat <i>DC sputtering</i>	40
Gambar 3.2. Skema alat difraksi sinar-X	41
Gambar 3.3. Difraksi Bragg	42
Gambar 3.4. Skema alat spektrofotometer UV-Vis 1601 PC	44
Gambar 3.5. Skema alat probe empat titik	45
Gambar 3.6. Skema alat SEM	49
Gambar 3.7. Spektrum transmitansi sebagai fungsi panjang gelombang	52
Gambar 3.8. Bentuk sampel lapisan tipis	55
Gambar 3.9. Alur metode penelitian	56
Gambar 4.1. Pola difraksi sinar-X lapisan tipis ZnO:Al yang didepositkan di atas substrat kaca pada tekanan $6 \times 10^{-2}$ torr, waktu deposisi 1,5 jam dan suhu substrat 450°C dengan konsentrasi doping $Al_2O_3$ : (a) 1%, (b) 2%, (c) 3%	59

- Gambar 4.2. Pola difraksi sinar-X lapisan tipis ZnO:Al pada konsentrasi doping  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2% dengan tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr, waktu deposisi 1,5 jam pada berbagai suhu substrat : (a)  $100^\circ\text{C}$ , (b)  $200^\circ\text{C}$ , (c)  $300^\circ\text{C}$ , (d)  $400^\circ\text{C}$ , (e)  $450^\circ\text{C}$  60
- Gambar 4.3. Pengaruh suhu substrat terhadap pola difraksi sinar-X lapisan tipis ZnO yang dibuat pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr, waktu deposisi 1,5 jam : (a)  $100^\circ\text{C}$ , (b)  $200^\circ\text{C}$ , (c)  $300^\circ\text{C}$ , (d)  $400^\circ\text{C}$ , (e)  $450^\circ\text{C}$  63
- Gambar 4.4. Rasio intensitas difraksi sinar-X ((100/002)),((110/002)) dari lapisan tipis ZnO:Al dengan konsentrasi doping  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2% sebagai fungsi suhu substrat 65
- Gambar 4.5. Rasio intensitas difraksi sinar-X ((100/002)),((110/002)) dari lapisan tipis ZnO sebagai fungsi suhu substrat 65
- Gambar 4.6. Struktur mikro lapisan tipis ZnO yang dibuat pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr, waktu deposisi 1,5 dan suhu substrat  $450^\circ\text{C}$  dengan perbesaran 5000 kali 66
- Gambar 4.7. Struktur mikro lapisan tipis ZnO:Al dengan konsentrasi doping  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2% yang dibuat pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr, waktu deposisi 1,5 jam dan suhu substrat  $450^\circ\text{C}$  dengan perbesaran 5000 kali 68
- Gambar 4.8. Struktur mikro lapisan tipis ZnO:Al dengan konsentrasi doping  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3% yang dibuat pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr, waktu deposisi 1,5 jam dan suhu substrat  $450^\circ\text{C}$  dengan perbesaran 5000 kali 68
- Gambar 4.9. Spektrum hasil EDS pada permukaan sampel lapisan tipis ZnO yang dibuat pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr, waktu deposisi 1,5 jam dan suhu substrat  $450^\circ\text{C}$  70
- Gambar 4.10. Spektrum hasil EDS pada permukaan sampel lapisan tipis ZnO:Al dengan konsentrasi doping  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2% yang dibuat pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr, waktu deposisi 1,5 jam dan suhu substrat  $450^\circ\text{C}$  70
- Gambar 4.11. Spektrum hasil EDS pada permukaan sampel lapisan tipis ZnO:Al dengan konsentrasi doping  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3% yang dibuat pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr, waktu deposisi 1,5 jam dan suhu substrat  $450^\circ\text{C}$  71
- Gambar 4.12. Spektrum transmitansi sebagai fungsi panjang gelombang dari lapisan tipis ZnO:Al pada berbagai konsentrasi doping  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dengan tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr, waktu deposisi 1,5 jam dan suhu substrat  $450^\circ\text{C}$  72
- Gambar 4.13. Hubungan antara komposisi target terhadap transmitansi lapisan tipis ZnO:Al pada berbagai panjang gelombang 72
- Gambar 4.14. Spektrum transmitansi sebagai fungsi panjang gelombang dari lapisan tipis ZnO untuk variasi suhu substrat : (a)  $100^\circ\text{C}$ , (b)  $200^\circ\text{C}$ , (c)  $300^\circ\text{C}$ , (d)  $400^\circ\text{C}$ , (e)  $450^\circ\text{C}$  74
- Gambar 4.15. Hubungan antara suhu substrat terhadap transmitansi lapisan tipis ZnO pada berbagai panjang gelombang 74

- Gambar 4.16. Spektrum transmitansi sebagai fungsi panjang gelombang dari lapisan tipis ZnO:Al dengan konsentrasi doping  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2% untuk variasi suhu substrat : (a)  $100^\circ\text{C}$ , (b)  $200^\circ\text{C}$ , (c)  $300^\circ\text{C}$ , (d)  $400^\circ\text{C}$ , (e)  $450^\circ\text{C}$  75
- Gambar 4.17. Hubungan antara suhu substrat terhadap transmitansi lapisan tipis ZnO:Al dengan konsentrasi doping  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2% pada berbagai panjang gelombang 75
- Gambar 4.18. Grafik hubungan indeks bias lapisan tipis ZnO:Al terhadap komposisi target 77
- Gambar 4.19. Grafik hubungan indeks bias lapisan tipis ZnO terhadap variasi suhu substrat pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr dan waktu deposisi 1,5 jam 79
- Gambar 4.20. Grafik hubungan indeks bias lapisan tipis ZnO:Al dengan konsentrasi doping  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2% terhadap variasi suhu substrat pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr dan waktu deposisi 1,5 jam 79
- Gambar 4.21. Resistivitas dan konduktivitas lapisan tipis ZnO:Al sebagai fungsi komposisi target pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr, waktu deposisi 1,5 jam dan suhu substrat  $450^\circ\text{C}$  81
- Gambar 4.22. Pengaruh suhu substrat terhadap resistivitas dan konduktivitas lapisan tipis ZnO yang dibuat pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr dan waktu deposisi 1,5 jam 84
- Gambar 4.23. Pengaruh suhu substrat terhadap resistivitas dan konduktivitas lapisan tipis ZnO:Al dengan konsentrasi doping  $\text{Al}_2\text{O}_3$  2% yang dibuat pada tekanan  $6 \times 10^{-2}$  torr dan waktu deposisi 1,5 jam 85

## DAFTAR SIMBOL

$W$	Jumlah material terpercik yang terdeposit tiap satu satuan luas substrat
$W_o$	Jumlah partikel yang terpercik tiap satu satuan luas katoda
$W_i$	Kehilangan berat target
$k_o$	Konstanta kesebandingan
$P$	Tekanan gas
$d_o$	Jarak elektroda
$R_d$	Laju deposisi
$t_s$	Waktu <i>sputtering</i> (waktu deposisi)
$J_+$	Rapat arus ion pada katoda
$e, q$	Muatan elektron
$S$	Hasil <i>sputtering</i>
$A_i$	Berat atom material terpercik
$N_A$	Bilangan Avogadro
$E_i$	Energi ion penumbuk
$E_t$	Energi yang dipindahkan ke atom target selama proses tumbukan
$M_1, M_2$	Massa ion penumbuk, massa atom target
$Z$	Nomer atom bahan target
$I_i$	Arus ion pada target (katoda)
$\eta$	Koefisien penyesuaian diri ( <i>accomodation</i> )
$T_c, T_v, T_s$	Suhu partikel penumbuk, suhu partikel teremisi, suhu substrat
$\tau_s$	Waktu partikel teradsorpsi pada permukaan substrat
$\nu$	Frekuensi vibrasi adatom pada permukaan substrat
$k_B$	Tetapan Boltzman
$E_{des}$	Energi yang diperlukan partikel untuk lepas dan kembali ke <i>vapor</i>
$\bar{x}$	Jarak rerata partikel bermigrasi dengan cara difusi permukaan
$D_d$	Koefisien difusi permukaan
$E_{dif}$	Energi aktivasi yang digunakan untuk difusi permukaan
$Zn_i^x, Zn_i^o$	Sisipan $Zn^+$ , sisipan $Zn^{2+}$
$V_o^x, V_o^o$	Kekosongan oksigen yang ditempati 2 elektron, kekosongan oksigen yang ditempati 1 elektron
$\rho$	Resistivitas listrik
$\sigma$	Konduktivitas listrik
$n, p$	Rapat pembawa muatan (elektron), rapat pembawa muatan (lubang)
$\mu_e, \mu_h$	Mobilitas elektron, mobilitas lubang

$J$	Rapat arus
$E$	Medan listrik
$V$	Beda potensial
$I$	Arus listrik
$R$	Resistansi listrik
$A$	Luas penampang penghantar
$w_f$	Lebar lapisan tipis
$l_f$	Panjang lapisan tipis
$s$	Jarak probe
$n_i$	Indeks bias medium
$k_e$	Koefisien <i>extinction</i>
$\theta_1, \theta_1', \theta_2$	Sudut datang, sudut pantul, sudut bias
$\hat{n}$	Vektor satuan yang tegak lurus pada bidang batas dari medium 1 ke 2
$\vec{E}_1, \vec{E}_1', \vec{E}_2$	Vektor medan listrik gelombang datang, gelombang pantul, gelombang transmisi
$\vec{B}_1, \vec{B}_1', B_2$	Vektor medan magnet gelombang datang, gelombang pantul, gelombang transmisi
$\vec{k}_1, \vec{k}_1', \vec{k}_2$	Vektor perambatan gelombang datang, gelombang pantul, gelombang transmisi
$k_1, k_1', k_2$	Konstanta perambatan gelombang datang, gelombang pantul, gelombang transmisi
$\vec{r}$	Vektor posisi
$\omega$	Frekuensi gelombang
$c$	Kecepatan cahaya di ruang hampa
$t$	Waktu perambatan gelombang
$r_{12s}$	Koefisien refleksi Fresnel untuk gelombang terpolarisasi-s
$t_{12s}$	Koefisien transmisi Fresnel untuk gelombang terpolarisasi-s
$r_{12p}$	Koefisien refleksi Fresnel untuk gelombang terpolarisasi-p
$t_{12p}$	Koefisien transmisi Fresnel untuk gelombang terpolarisasi-p
$R'$	Reflektansi
$T$	Transmitansi
$r_{12}$	Amplitudo refleksi cahaya dari medium $n_1$ ke $n_2$
$r_{23}$	Amplitudo refleksi cahaya dari medium $n_2$ ke $n_3$
$t_{12}$	Amplitudo transmisi cahaya dari medium $n_1$ ke $n_2$
$t_{23}$	Amplitudo transmisi cahaya dari medium $n_2$ ke $n_3$
$\delta$	Beda fase antara cahaya datang dan cahaya terpantul
$\lambda'$	Panjang gelombang cahaya datang
$t_f$	Ketebalan lapisan
$T_o$	Transmitansi maksimum



$T_c$	Transmitansi minimum
$\lambda_2$	Panjang gelombang yang menghasilkan transmitansi maksimum
$\lambda_1$	Panjang gelombang yang transmitansinya maksimum setelah $\lambda_2$
$n_s$	Indeks bias substrat
$n_f$	Indeks bias lapisan tipis
$n$	Orde difraksi
$\theta$	Sudut difraksi
$\lambda$	Panjang gelombang sinar-X
$d$	Jarak antar bidang kristal
$h, k, l$	Indeks Miller
$a, c$	Parameter kisi untuk sistem kristal hexagonal