



KONDUKTIVITAS DAN TRANSMITANSI FILM TIPIS zinc oxide YANG DIDEPOSISIKAN PADA TEMPERATUR RUANG

Kiki Wahyuningsih ✉ Putut Marwoto, Sulhadi

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang, Indonesia, 50229

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima Maret 2013

Disetujui Maret 2013

Dipublikasikan Mei 2013

Keywords:

zinc oxide, plasma power, transmittance, conductivity

Abstrak

Film tipis zinc oxide (ZnO) telah berhasil dideposisi pada temperatur ruang dengan daya plasma 20 W, 30 W, dan 40 W menggunakan metode dc magnetron sputtering. Struktur kristal film dikarakterisasi menggunakan XRD (X-ray diffraction). Transmittansi optik dikarakterisasi dengan spektrometer UV-vis dan konduktivitas listrik diketahui dengan analisis hasil dari pengukuran I-V meter. Film tipis ZnO pada daya plasma 30 W dan 40 W mempunyai struktur polikristal sedangkan pada daya plasma 20 W memiliki struktur kristal yang cenderung amorf. Pada orientasi (100) memiliki intensitas tertinggi dan nilai full width half maximum (FWHM) terkecil pada daya plasma 30 W. Spektrum transmittansi yang dihasilkan menunjukkan pola interference fringe. Nilai transmittansi semakin besar pada peningkatan daya plasma dengan nilai terbesar ~92% yang dimiliki daya plasma 40 W. Besarnya energi gap yang dihasilkan bergantung pada besarnya daya plasma saat deposisi. Nilai konduktivitas film yang dihasilkan antara $1,16 \times 10^{-6}$ sampai $4,02 \times 10^{-7}$ sehingga dapat diaplikasikan untuk transparent conductive oxide (TCO).

Abstract

zinc oxide thin films have been successfully deposited at room temperature with a plasma power 20 W, 30 W, and 40 W using dc magnetron sputtering method. The crystal structure of films were characterized using XRD (X-ray diffraction). Optical transmittance characterized by UV-vis spectrometer and electrical conductivity determined by analysis of results from I-V measurement. ZnO thin films on a plasma power of 30 W and 40 W have a polycrystalline structure, while the plasma power of 20 W has a crystalline structure that tends to amorphous. The orientation (100) has the highest intensity and the value of full width half maximum (FWHM) at the smallest plasma power 30 W. The resulting transmittance spectrum shows interference fringe pattern. Transmittance value the greater the enhancement of plasma with the largest value of ~ 92% owned plasma power 40 W. The magnitude of the energy gap depends on the amount of power generated at the plasma deposition. The resulting film conductivity value between 1.16 to 4.02×10^{-6} $\times 10^{-7}$ so that it can be applied for transparent conductive oxide (TCO)

PENDAHULUAN

Transparent conductive oxide (TCO) mempunyai peranan penting pada fabrikasi beragam devais seperti elektroda transparan, material window untuk display, surface acoustic wave devices, sensor, dan transduser elektronik. Material yang termasuk ke dalam kategori ini diantaranya adalah zinc oxide sebagai alternatif yang menjanjikan untuk indium tin oxide (ITO) pada aplikasi TCO, mempunyai harga murah dan temperatur deposisi yang relatif rendah (Bao Ma et al., 2007). Material zinc oxide sebagai aplikasi TCO mempunyai resistansi rendah dan transmitansi optik tinggi dibandingkan dengan ITO (Khranovskyy, 2007). ZnO merupakan golongan oksida yang dapat ditumbuhkan sebagai material polikristal pada temperatur ruang atau temperatur yang relatif rendah (Fortunato et al., 2004).

Film tipis ZnO dapat diaplikasikan sebagai transparent conducting electrode pada photovoltaics, jika tin doping dengan In₂O₃ (ITO) untuk aplikasi display dan transduser listrik (Jayaraj, 2002).

Penumbuhan film tipis zinc oxide pada temperatur ruang telah diteliti oleh Barnes, et al (2004) menggunakan metode chemical vapor deposition (CVD) menunjukan kristalinitas dengan grain size ~50 nm rentang temperatur 25–230°C dominan arah sumbu-c yang memiliki orientasi kuat pada arah (002). Pada temperatur ruang full-width half-maximum (FWHM) meningkat dan memperlihatkan orientasi puncak (101), (100) yang lebih kecil dibandingkan dengan puncak (002). Ketebalan film yang ditumbuhkan pada temperatur 200°C sebesar 200 nm sedangkan film yang ditumbuhkan dibawah temperatur 150°C memiliki ketebalan 100 nm. Film yang dideposisi pada temperatur dibawah 100°C menunjukkan orientasi yang lebih acak dengan puncak yang signifikan pada arah (100). Pada temperatur 230°C memiliki energi gap sebesar 3,28 eV dan meningkat pada temperatur ruang dengan nilai 3,33 eV.

Nilai resistivitas listrik minimal ZnO doping Boron sebesar 10⁻⁴ Ωcm dan ZnO tanpa doping (1-5)×10⁻⁴ Ωcm, ZnO tanpa doping mempunyai resistivitas yang lebih tinggi daripada ZnO doping tetapi nilai resistivitas tersebut cukup sebagai aplikasi devais optik (Kim, 2007). Menurut Barker, et al (1997) pada temperatur ruang resistivitas ZnO konsisten sebesar 3×10⁷ Ωcm. Resistivitas meningkat hingga 1010 Ωcm ketika daya plasma dinaikkan sampai 180 W dan tekanan diturunkan menjadi 4×10⁻³ mbar.

Pada penumbuhan film tipis zinc oxide pada temperatur 25-500°C yang diteliti oleh Dikovska, et al

(2005) menunjukkan harga transmisi optik terbesar terdapat pada temperatur ruang sebesar 85-92%.

Film tipis ZnO dapat ditumbuhkan dengan variasi substrat dengan menggunakan variasi teknik seperti molecular beam epitaxy (MBE), metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD), sputtering, pulsed laser deposition (PLD) dan chemical vapor deposition (CVD) (Sahoo, 2010). Metode yang digunakan untuk deposisi lapisan tipis ZnO dalam penelitian ini adalah dc magnetron sputtering. Deposisi film tipis ZnO menggunakan metode dc magnetron sputtering menarik untuk diteliti karena mempunyai berbagai kelebihan dan reaktor tersebut tersedia di laboratorium fisika material Universitas Negeri Semarang. Penelitian ini difokuskan pada struktur kristal, transmitansi optik, dan konduktivitas listrik.

METODE

Penelitian ini dilakukan menggunakan dc magnetron sputtering (homemade). Film tipis ZnO dideposisi pada substrat corning glass menggunakan dc magnetron sputtering (homemade). Target berupa pellet ZnO dengan 99,999% PURATREM dengan massa 10 gram. Film tipis ZnO dideposisi di atas substrat corning glass. Target disintering pada suhu 750 °C selama 2 jam. Parameter deposisi film tipis ZnO ditunjukkan pada Tabel 1.

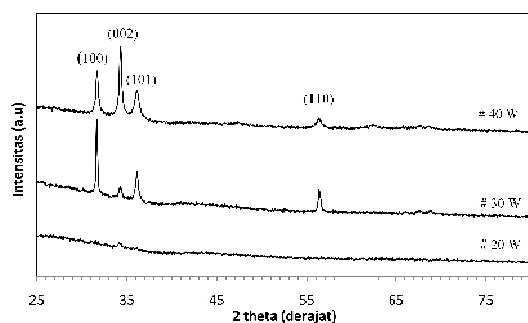
Tabel 1. Parameter Kondisi Film Tipis ZnO yang Dideposisi di Atas Substrat corning glass pada Temperatur Ruang

Sampel	Tekanan Ar (mTorr)	Daya Plasma (watt)	Waktu Deposisi (menit)
ZnO #1	500	20	60
ZnO #2	500	30	60
ZnO #3	500	40	60

HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur kristal

Gambar 1 menunjukkan difraksi sinar-X film tipis ZnO dengan daya plasma 20 W, 30 W, dan 40 W pada temperatur ruang. Pada daya plasma 30 W dan 40 W memiliki struktur polikristal sedangkan pada daya plasma 20 W memiliki struktur kristal yang masih cenderung amorf. Intensitas tertinggi terdapat pada film tipis ZnO yang dideposisi pada daya 30 W dengan orientasi bidang (100).



Gambar 1. Difraksi Sinar-X Film Tipis ZnO dengan Daya Plasma 20 W, 30 W dan 40 W pada Temperatur Ruang

Parameter kisi orientasi bidang (002) film yang dideposisi pada daya plasma 20 W ($c = 5,2469 \text{ \AA}$), daya plasma 30 W ($c = 5,2387 \text{ \AA}$), dan 40 W ($c = 5,2305 \text{ \AA}$). Dari nilai tetapan kisi yang telah diperoleh, maka dapat diketahui bahwa film ZnO mempunyai struktur heksagonal tipe wurtzite.

Pada peningkatan daya plasma, letak bidang orientasi difraksi tidak mengalami perubahan yang signifikan, hal ini berkaitan dengan hasil film yang polikristal dan grain size menjadi lebih besar dengan kenaikan daya plasma. Crystallite size untuk film ZnO yang dideposisi pada temperatur ruang dengan variasi daya plasma mempunyai nilai sekitar 43-64 nm dari spektrum XRD menggunakan persamaan Scherrer pada arah bidang (002) (Zhang et al., 2002) dengan formula Debye-Scherrer :

$$D = (0.9 \lambda) / (\beta \cos \theta) \quad (1)$$

dengan D merupakan crystalite size, λ merupakan panjang gelombang dari $\text{CuK}\alpha$, β merupakan full width half maximum (FWHM), dan θ merupakan sudut Bragg.

Film tipis ZnO yang dihasilkan berstruktur heksagonal lebih dominan mengatur arah dan panjang ikatannya pada orientasi bidang (002) dibandingkan orientasi bidang (100), (101) dan (110) yang semakin melemah dengan meningkatnya daya plasma. Pada orientasi bidang (002) crystalite size meningkat dengan peningkatan daya plasma. Crystalite size atau ukuran kristal meningkat dengan peningkatan daya plasma karena ion-ion atau kumpulan ion dapat memiliki energi yang lebih untuk tumbukan dengan substrat. Ion-ion atau kumpulan ion dengan energi yang lebih tinggi dapat dengan mudah mengatur arah dan panjang ikatannya sendiri, oleh karena itu mendapat ikatan optimal untuk atom yang berdekatan, bernukleasi dan berkembang. Pada daya plasma yang lebih besar diperoleh energi yang lebih besar yang dapat membantu deposisi film. Energi partikel yang lebih tinggi mempunyai

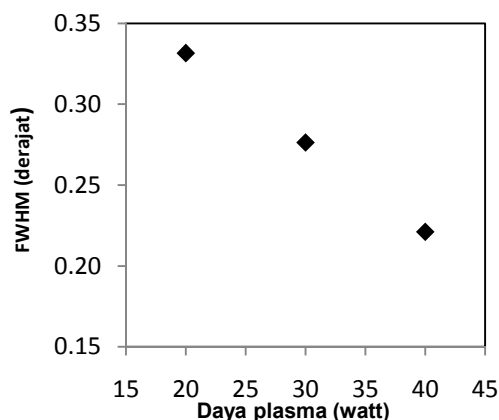
mobilitas permukaan yang tinggi, oleh karena itu proses deposisi juga lebih tinggi pada permukaan.

Pelebaran puncak difraksi menyebabkan adanya lattice strain pada material seperti ZnO. Nilai lattice strain film ZnO yang dideposisi pada temperatur ruang pada daya plasma 20 W, 30 W, 40 W masing-masing sebesar 0,269, 0,224, 0,179, yang ditentukan menggunakan formula tangen (Nafees et al., 2012) :

$$\varepsilon = \beta / (4 \tan \theta) \quad (2)$$

dengan ε adalah lattice strain, β adalah FWHM, dan θ adalah sudut difraksi.

Selain mengetahui struktur kristal, dari hasil karakterisasi dengan XRD juga diketahui nilai full width at half maximum (FWHM). Semakin kecil nilai FWHM semakin baik kualitas kristal, sehingga semakin kecil strain yang terjadi pada film (Suryanarayana & Norton, 1998:84). Nilai FWHM yang semakin kecil menunjukkan bahwa atom-atom yang berdekatan semakin mudah mengatur arah dan panjang ikatannya sendiri. Hubungan perhitungan FWHM pada orientasi bidang (002) terhadap daya plasma ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan FWHM pada Orientasi Bidang (002) dengan Daya Plasma 20 W, 30 W, dan 40 W

Pada orientasi bidang (100) nilai FWHM lebih kecil pada daya plasma 30 W sebesar 0,1659o dibandingkan dengan daya plasma 40 W sebesar 0,1764o.

Gambar 2 menunjukkan bahwa nilai FWHM pada orientasi bidang (002) semakin kecil dengan peningkatan daya plasma, hal ini menyebabkan nilai lattice strain menjadi lebih kecil. Pada saat tidak ada strain, distribusi muatan pada titik letak kisi adalah simetris sehingga medan listrik internal mempunyai nilai nol. Pada saat kristal mengalami strain, muatan-muatan akan mengalami pergeseran.

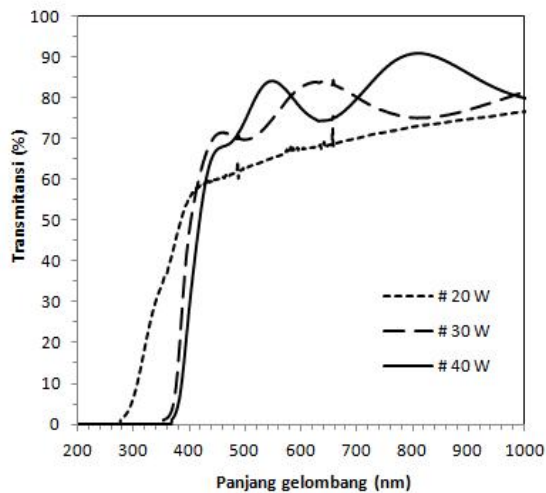
Lattice strain pada persamaan (2) berkaitan dengan nilai stress yang dapat ditentukan dengan persamaan (3):

$$\sigma_{\text{film}}^{\text{XRD}} = -233 \varepsilon \quad (3)$$

$\sigma_{\text{film}}^{\text{XRD}} = -233 \varepsilon$ adalah stress film ZnO (Chen et al., 2000).

Perubahan d-space pada orientasi bidang (002) menunjukkan bahwa unit sel dapat juga berada di sepanjang sumbu-c dan keberadaan stress pada arah (002) (Gao, 2004). Perubahan tersebut diduga terjadi juga pada orientasi bidang (100), dengan nilai d-space pada orientasi bidang (100) ternyata lebih kecil dibandingkan dengan nilai d-space pada orientasi bidang (002).

Transmitansi Optik



Gambar 3. Hasil Karakterisasi Spektrometer UV-vis dengan Daya Plasma 20 W, 30 W dan 40 W

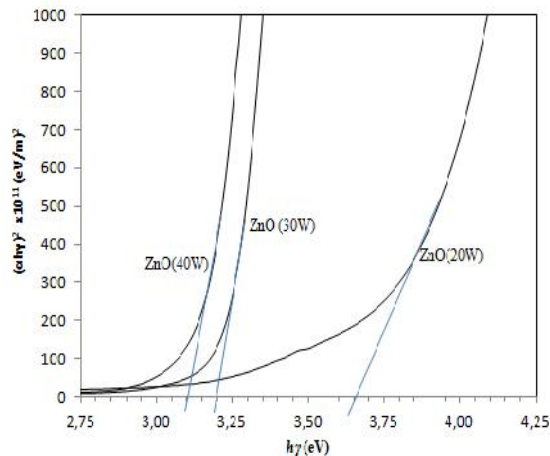
Gambar 3 menunjukkan spektrum transmitansi yang terdiri dari tiga sampel film tipis ZnO yang dideposisikan pada temperatur ruang dengan variasi daya plasma. Dari bentuk spektrum transmitansi dapat dinyatakan mempunyai bentuk potensial penghalang berhingga (finite potential barrier) dan menunjukkan pola interference fringe. Interference fringe pada grafik transmitansi menunjukkan bahwa permukaan film mempunyai reflektivitas tinggi dan tidak terlalu banyak scattering atau absorpsi yang sedikit pada film (Kim et al., 2008). Spektrum transmitansi yang tidak seragam pada ketiga film ZnO disebabkan oleh interferensi antara refleksi cahaya dengan permukaan film. Proses yang terjadi yaitu seberkas cahaya yang mengenai film tipis dengan sudut datang i , sebagian berkas cahaya langsung dipantulkan oleh permukaan film sedangkan sebagian lagi dibiaskan dulu ke dalam

lapisan tipis dengan sudut bias r kemudian dipantulkan kembali ke udara. Gabungan berkas pantulan langsung dan berkas pantulan setelah dibiaskan ini membentuk pola interferensi. Spektrum transmitansi pada daya plasma 20 W tidak memiliki resonansi, hal ini disebabkan karena film yang dihasilkan sangat tipis. Semakin tinggi daya plasma, film yang dihasilkan semakin tebal. Hal ini ditunjukkan dengan panjang gelombang yang semakin pendek pada spektrum transmitansi daya plasma 40 W. Dari Gambar 4.3 terlihat ada perubahan transmitansi pada panjang gelombang (λ) 1000 nm ke bawah. Pada daya plasma 40 W terlihat dip atau lembah transmitansi yang paling rendah terdapat pada daerah cahaya tampak ~ 640 nm dan mengalami kenaikan transmitansi pada panjang gelombang ~ 700 nm, hal ini disebabkan oleh absorpsi vibrasional. Transmitansi dalam keadaan menurun tajam terdapat pada daerah spektrum ultraviolet ~ 280 nm yang berkaitan dengan absorpsi oleh elektron terikat. Permulaan absorpsi ini disebut fundamental absorption edge (Fox, 2001:9). Absorption edge disebabkan oleh permulaan pada transisi optik yang berlawanan dengan fundamental band gap pada material, hal ini dapat diketahui dari proses yang terjadi ketika elektron tereksitasi di antara pita pada zat padat yang mengakibatkan transisi optik. Proses ini disebut interband absorption (Fox, 2001:49). Syarat fundamental absorption yaitu energi foton harus lebih besar atau sama besar dengan Energi gap (Eg). Perubahan pada absorption edge untuk mengisi pita energi sering disebut Burstein-Moss shift, berasal dari level energi fermi yang berada di atas dasar pita konduksi (Postava et al., 2000).

Pada ketiga sampel film tipis ZnO menunjukkan nilai transmitansi pada daya plasma 20 W, 30 W, dan 40 W masing-masing sebesar 76%, 84%, dan 92%. Peningkatan daya plasma mengakibatkan nilai transmitansi menjadi lebih besar. Karakteristik ini disebabkan ketebalan film yang lebih tebal, peningkatan hamburan, refraksi dan absorpsi optik film karena kekasaran permukaan yang lebih besar pada daya plasma yang lebih tinggi. Nilai transmitansi film tipis ZnO pada penelitian ini bersesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Dikovska, et al (2005) menggunakan metode Pulsed Laser Deposition menunjukkan nilai transmisi optik tertinggi sekitar 92 % terdapat pada temperatur ruang. Direct optical band gap (Eg) dapat ditentukan dari data pengukuran transmitansi pada panjang gelombang pendek. Secara teori hubungan antara Eg dan koefisien absorpsi (α) ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\alpha h\nu \propto (h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

dengan h konstanta Planck dan γ frekuensi pada peristiwa foton (Bie et al., 2009).



Gambar 4. Hubungan $(\alpha h\nu)^2$ dengan Celah Pita Energi ($h\nu$) Film ZnO yang Dideposisi pada Temperatur Ruang dengan Daya Plasma 20 W, 30 W, dan 40 W

Gambar 4. dapat digunakan untuk menentukan nilai energi gap (band gap) dengan mengekstrapolasi linear spektrum transmitansi. Film yang dideposisi pada temperatur ruang dengan daya plasma 20 W, 30 W, dan 40 W masing-masing memiliki energi gap sebesar 3,65 eV, 3,20 eV, dan 3,10 eV. Penyusutan energi gap yang terjadi dikarenakan nilai crystallite size yang besar dan lattice strain yang kecil pada hasil analisis karakterisasi XRD. Nilai energi gap yang dihasilkan dari penelitian ini memenuhi syarat sebagai bahan transparent conducting oxide (TCO) karena memiliki energi gap lebih dari 3,10 eV.

Konduktivitas listrik

Konduktivitas listrik pada film tipis ZnO dapat timbul dengan keberadaan komposisi nonstoichiometry yang disebabkan oleh kelebihan ion-ion seng (Zn^{2+}), karena kristal bersifat netral maka kelebihan kation ini akan diimbangi oleh muatan negatif dengan jumlah yang sama yaitu dua elektron. Elektron-elektron tersebut bebas bergerak di dalam kristal di bawah pengaruh medan luar.

Pada temperatur ruang banyak elektron valensi yang terlepas dari ikatan kovalen, hal ini menyebabkan terjadi getaran atom. Semakin tinggi temperatur, semakin banyak pula elektron bebas. Jika di dalam bahan diberi medan listrik yaitu dengan memberi beda potensial, maka elektron bebas ini akan

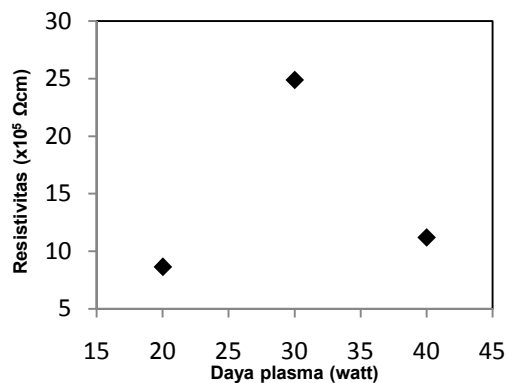
bergerak menjadi aliran atau arus listrik. Keberadaan arus listrik ini ditimbulkan oleh gerakan elektron konduksi di bawah pengaruh medan. Elektron konduksi tersebut yang menimbulkan arus karena letak ion-ion yang bervibrasi di sekitar titik letak kekisi.

Tabel 1. Hasil Karakterisasi Konduktivitas Film Tipis ZnO yang Dideposisi pada Temperatur Ruang dengan Metode Two-point Probe

Sampel	P _{argon} (mTorr)	Daya Plasma (watt)	Resistivitas (Ωcm)	Konduktivitas (Ωcm) ⁻¹
ZnO #1	500	20	$8,64 \times 10^5$	$1,16 \times 10^{-6}$
ZnO #2	500	30	$2,49 \times 10^6$	$4,02 \times 10^{-7}$
ZnO #3	500	40	$1,21 \times 10^6$	$8,92 \times 10^{-7}$

Tabel 1 menunjukkan hasil analisis nilai resistivitas film tipis ZnO yang dideposisi pada temperatur ruang dengan daya plasma 30 W menunjukkan konduktivitas listrik yang paling kecil sebesar $4,02 \times 10^{-7}$ (Ωcm)⁻¹ sedangkan dengan daya plasma 40 W menunjukkan nilai konduktivitas listrik yang tidak terlalu signifikan sebesar $8,92 \times 10^{-7}$ (Ωcm)⁻¹. Film tipis ZnO yang dideposisi dengan daya plasma 20 W menunjukkan konduktivitas listrik yang paling besar yaitu $1,16 \times 10^{-6}$ (Ωcm)⁻¹. Hal ini disebabkan pada film dengan konduktivitas yang kecil memiliki nilai d-space yang lebar (Gao, 2004). Pada daya plasma 30 W dan 40 W memiliki lebar d-space pada orientasi bidang (100) sebesar 1,6323 Å dan 1,6236 Å sedangkan pada orientasi bidang (002) sebesar 2,6193 Å dan 2,6152 Å. Jelas bahwa konduktivitas listrik pada daya plasma 30 W lebih kecil daripada 40W karena pada 30 W memiliki d-space yang lebih lebar daripada 40 W. Lebar d-space dapat dipengaruhi oleh keberadaan stress. Oleh karena itu, pada orientasi bidang kristal menunjukkan bahwa stress juga mempengaruhi film selama proses deposisi yang dapat merubah sifat listrik.

Peningkatan daya plasma dari 20 W ke 30 W menunjukkan resistivitas listrik meningkat yang menyebabkan bertambahnya energi kinetik dan momentum atom-atom target yang menuju substrat. Peningkatan energi kinetik dan momentum atom-atom target yang menuju substrat meningkatkan mobilitas atom-atom target menuju permukaan substrat. Mobilitas yang tinggi dari atom-atom di permukaan substrat dapat menyebabkan terbentuknya lapisan tipis dengan ukuran butir (grain size) besar (Sudjatmoko, 2003). Perubahan konsentrasi pembawa dan mobilitas Hall konsisten dengan perubahan resistivitas (Bie et al., 2009). Hubungan resistivitas listrik dan daya plasma ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Hubungan Resistivitas Listrik ZnO yang Dideposisi pada Temperatur Ruang dengan Daya Plasma 20 W, 30 W, dan 40 W

Hasil penelitian Barker, et al (1997) menyatakan pada temperatur ruang resistivitas listrik ZnO yang dideposisi dengan metode r.f. magnetron sputtered konsisten sebesar $3 \times 10^7 \Omega\text{cm}$ dan pada penelitian Tokumoto, et al (2002) menyatakan dengan pyrosol process, resistivitas listrik ZnO pada temperatur ruang sebesar $\approx 1012 \Omega\text{cm}$. Hasil resistivitas tersebut lebih besar dibandingkan dengan hasil penelitian ini sehingga dapat dikatakan konduktivitas listrik yang dihasilkan pada penelitian ini lebih baik.

SIMPULAN

Film tipis ZnO berhasil dideposisi pada substrat corning glass menggunakan metode dc magnetron sputtering. Hasil karakterisasi XRD menunjukkan film tipis ZnO memiliki struktur polikristal pada daya plasma 30 W dan 40 W sedangkan daya plasma 20 W memiliki struktur kristal yang masih cenderung amorf. Intensitas tertinggi dimiliki oleh daya plasma 30 W pada orientasi bidang (100). Hal ini diperkuat dengan nilai FWHM yang paling kecil pada daya plasma 30 W. Nilai transmitansi optik paling tinggi terdapat pada daya plasma 40 W sebesar 92%. Nilai energi gap mengalami penyusutan dengan peningkatan daya plasma yang disebabkan oleh nilai crystallite size semakin besar dan lattice strain yang semakin kecil. Nilai konduktivitas listrik mengalami kenaikan dan penurunan dengan peningkatan daya plasma. Hal ini berkaitan dengan d-space yang paling lebar terdapat pada daya plasma 30 W.

DAFTAR PUSTAKA

Bao Ma, Quan, Z-Zhen Ye, Hai-Ping He, Li-Ping Zhu, Bing-Hui Zhao. 2007. Effect of deposition

pressure on the properties of transparent conductive ZnO:Ga films prepared by DC reactive magnetron sputtering. *Materials Science in Semiconductor Processing* 10 (2007) 167-172.

Barker, A, S.Crowther, D.Rees. 1997.

Room Temperature R.F. Magnetron Sputtered ZnO for Electromechanical Devices. *Sensors and Actuators A* 58 (1997) 229-235.

Barnes, T.M, J.Leaf, C.Fry, C.A. Wolden.2004. Room Temperature Chemical Vapor Deposition of C-Axis ZnO. *Journal Of Crystal Growth* 274 (2005) 412-417.

Bie, X, J.G.Lu, L.Gong, L. Lin, B.H.Zhao, Z.Z.Ye. 2009. Transparent Conductive ZnO:Ga Films Prepared By DC Magnetron Sputtering at Low Temperature.

Elsevier. *Applied Surface Science* 256 (2009) 289-293.

Chen, M, Z.L. Pei, C. Sun, L.S. Wen, X. Wang. 2000. Surface characterization of transparent conductive oxide Al-doped ZnO films. *Elsevier. Journal of Crystal Growth* 220 (2000) 254-262.

Dikovska, A. Og, P. A. Atanasov, C.

Vasileva, I. G. Dimitrov, T. R. Stoyanchoy.2005. Thin ZnO Films Produced By Pulsed Laser Deposition. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials* Vol. 7, No. 3, June 2005, p. 1329 – 1334.

Fortuna, E.M.C, P.M. C. Barquinha, A. C. M. B. G. Pimentel, A.M. F. Gonçalves, A.J. S. Marques, R.F. P. Martins, & L.M.N. Pereira. 2004. Wide- Bandgap High-Mobility ZnO Thin-Film Transistors Produced At Room Temperature . *Applied Physics Letters* Volume 85, Number 13.

Fox, M. 2001. *Optical Properties of Solids*. New York: Oxford University Press: 9, 49. Gao, W& Z. Li. 2004. ZnO Thin Films Produced by Magnetron Sputtering. *Elsevier. Ceramic Internasional* 30 (2004) 1155-1159.

Jayaraj, M.K, A.Antony & M. Ramachandran 2002. Transparent Conducting Zinc Oxide Thin Film Prepared by Off-Axis Rf Magnetron Sputtering. *Bull. Mater. Sci.*, Vol. 25, No. 3, June 2002, pp. 227-230. © Indian Academy of Sciences

Khranovskyy, V, U. Grossner, V. Lazorenko, G. Lashkarev, B.G. Svensson, R.

Yakimova. 2007. Conductivity Increase Of ZnO:Ga Films by Rapid Thermal Annealing. *ScienceDirect: Superlattices and Microstructures* 42 (2007) 379-386

- Kim, D-H, H.Jeon, G.Kim, S.Hwangboe, V.P. Verma, W.Choi, Minhyon Jeon. 2008. Comparison of The Optical Properties of Undoped and Ga-doped ZnO Thin Films Deposited Using RF Magnetron Sputtering at Room Temperature. Elsevier. Optic Communications 281 (2008) 2120-2125.
- Nafees, M., W.Liaqut, S.Ali, M.A.Shafique. 2012. Synthesis of ZnO/Al:ZnO Nanomaterial: Structural And Band Gap Variation in ZnO nanomaterial by Al doping. Springer. Applied Nanoscience.
- Postava, K, H.Sueki, M. Aoyama, T.Yamaguchi, K. Murakami, Y.Igasaki. 2000. Doping effects on Optical Properties of Epitaxial ZnO layers determined by Spectroscopic ellipsometry. Elsevier. Applied Surface Science 175-176 (2001) 543-548.
- Sahoo, T, L-W.Jang, J-W. Jeon, M.Kim, J-S. Kim & I-H. Lee. Photoluminescence Properties of ZnO Thin Films Grown by Using the Hydrothermal Technique . Journal of the Korean Physical Society, Vol. 56, No. 3, March 2010, pp. 809_812.
- Sudjamoko,W,B.Siswanto. 2009. Influence Of Substrate Temperature On Structural, Electrical And Optical.. Atom Indonesia Vol. 35 No. 2 (2009) 115.
- Suryanarayana,C & MG.Norton.1998. X-ray Diffraction A Practical Approach. New York:Plenum Press.
- Tokumoto,M.S, A.Smith, C.V.Santilli, S.H.Pulcinelli, A.F.Craievich, E.Elkaïm, A. Traverse, V.Brios. 2002. Structural Electrical and Optical Properties of Undoped and Indium doped Zno Thin Films Prepared By Pyrosol Proses at Different Temperatures. Elsevier. Thin solid films (2002) 284-293.
- Zhang, Y, G.Du, Dali Liu, X.Wang, Y. Ma, J.Wang, J.Yin, X.Yang, X. ou, S.Yang. 2002. Crystal Growth of Undoped ZnO Films on Si Substrates Under Different Sputterin Conditions. Elsevier. Journal of crystal growth 243 (2002) 439-443.