

Pengaruh Temperatur Deposisi terhadap Struktur dan Sifat Optik Film Tipis ZnO:Al dengan metode DC Magnetron Sputtering

Sugianto^{1,*}, Putut Marwoto, Budi Astuti, Rofiatul Zannah dan Yanti

¹*Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Semarang, Kampus Sekaran, Gunung Pati, Semarang, 50229*

Email: sugiantomipa@gmail.com

Abstrak

Film tipis *zinc oxide* doping aluminium (ZnO:Al) telah dideposisikan di atas substrat *corning glass* dengan metode *DC magnetron sputtering*. Penumbuhan dilakukan dengan memvariasi temperatur deposisi (27°C, 200°C, 300°C, dan 400°C). Analisis *X-ray diffraction* (XRD) menunjukkan struktur kristal *wurtzite* dengan orientasi sumbu-*c*. Ukuran butir kristal meningkat dari 35 nm sampai 52 nm. Analisis *scanning electron microscopy* (SEM) menunjukkan bahwa ukuran butir bertambah besar dengan bertambahnya temperatur deposisi. Peningkatan temperatur deposisi juga menyebabkan peningkatan nilai transmitansi dari 70% sampai 83% dengan tepi absorpsi pada panjang gelombang sekitar 380 nm.

Kata kunci: Film Tipis, Transmitansi dan ZnO:Al.

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang terus berkembang membawa beberapa pendekatan baru pada penelitian dan pengembangan material oksida konduktif transparan atau *transparent conducting oxide* (TCO). TCO digunakan untuk keperluan teknologi yang lebih efisien dan ekonomis, dengan tampilan yang sama atau bahkan lebih baik. Aplikasi TCO yang banyak digunakan adalah sebagai lapisan luar pada sel surya. Material TCO memiliki karakteristik resistivitas listrik yang rendah dan transparansi yang tinggi pada panjang gelombang visibel. Penggunaan TCO telah berkembang sangat cepat, diantaranya pembuatan piranti optoelektronik misalnya pada TV LCD, TV Plasma, *organic electroluminescence* (EL) seperti *touch screen* monitor pada *automatic tellermachine* (ATM), ticket vending machines yang dipasang di stasiun kereta api, *electrochromic windows* (jendela yang bisa diatur menjadi transparan gelap) dan lapisan pertama pada sel surya (Sinaga, 2009).

Material TCO yang sudah banyak digunakan adalah Indium tin oxide (ITO). ITO mempunyai nilai transparansi ~80% dan resistivitas $2,36 \times 10^{-4}$ (ohm.cm) (Patel *et al.*, 2010). ITO juga memiliki karakteristik yang baik dari segi transmisi optik, energi band gap yang lebar, serta konduktivitas listrik yang tinggi (Sim *et al.*, 2010). Seiring dengan permintaan konsumen terhadap TV flat (LCD) dan juga panel surya menyebabkan kebutuhan ITO bertambah, padahal unsur Indium (In) merupakan unsur tanah sangat sedikit ketersediaannya di bumi. Harga Indium yang mahal menjadi permasalahan dalam pengembangan TCO yang murah. Kondisi ini menuntut perlu adanya penelitian untuk menemukan material TCO yang dapat menggantikan peran dari ITO. Untuk mengatasi hal tersebut, para ilmuwan telah banyak melakukan penelitian untuk mencari material-material TCO seperti Mangan-doped Zinc Oxide (Han, 2000), Aluminium-doped Zinc Oxide (AZO), Galium-doped Zinc Oxide (GZO) (Jang, 2008), dan Timah-doped Zinc Oxide (Tsay, 2008).

Material ZnO dipilih sebagai material baru yang diteliti untuk bahan alternatif pengganti ITO karena ZnO merupakan material yang tidak beracun dan sangat berlimpah di bumi (Sali, S. *et al.*, 2008). Ellmer (2000)

mengemukakan bahwa kandungan seng dalam kerak bumi 1000 kali lebih melimpah dari pada Indium. ZnO memiliki stabilitas yang tinggi dalam plasma hidrogen dan siklus panas serta tahan terhadap radiasi (Shinde *et al.*, 2007). ZnO juga memiliki band gap yang lebar (3,37eV) dengan energi ikat tinggi (60MeV). Film tipis Zinc Oxide tanpa doping memiliki karakteristik nilai konduktivitasnya rendah sekitar $6,24 \times 10^{-7} (\text{m})^{-1}$ (Suprayogi, 2014). Kelemahan ZnO adalah memiliki sifat listrik, sifat optik serta struktur unit yang kurang bagus sehingga diperbaiki dengan cara diberi doping (Kim *et al.*, 2010).

Untuk meningkatkan konduksi listrik, ZnO di doping dengan dopan dari golongan IIIA. Unsur golongan IIIA khususnya aluminium banyak digunakan sebagai dopan, karena dapat menurunkan resistivitas film ZnO hingga periode 10^{-4} cm (Dengyuan, 2005). Logam Aluminium (Al) merupakan unsur yang paling baik dibanding Boron (B), Galium (Ga), Indium (In) (Kuo *et al.*, 2006) didasarkan pada mobilitas elektron yang paling tinggi, dan memberikan pembawa muatan level yang tinggi. Al berkontribusi terhadap lebar band gap ZnO dikarenakan bertambahnya konsentrasi pembawa muatan, yang dikenal sebagai efek Burstein-Moss (Suchea *et al.*, 2007).

Pendeposisian film tipis dapat dilakukan dengan berbagai metode seperti Metal Oxide Chemical Vapor Deposition (MOCVD) (Park *et al.*, 2009), sol-gel dip-coating (Zhou *et al.*, 2007), RF magnetron sputtering (Kang *et al.*, 2007), buffer assisted pulsed laser deposition (Ajimsha *et al.*, 2010) dan ada juga dibuat dengan teknik Screen Printing (Sinaga, 2009). Metode penumbuhan film tipis ZnO yang baik adalah metode sputtering (Chaabouni *et al.*, 2004). Hal tersebut didasarkan pada kelebihan metode sputtering seperti dapat menghasilkan film tipis dari bahan dengan titik leleh tinggi, penghematan bahan yang akan dideposisikan, ketebalan lapisan dapat dikontrol dengan akurat, temperatur deposisi yang rendah, dan kecepatan deposisi yang tinggi. Metode sputtering mempunyai beberapa tipe berdasarkan dari sumber penghasilan daya plasmanya yaitu radio frequency (RF) sputtering dan direct current (DC) magnetron sputtering.

Film tipis ZnO dapat ditumbuhkan pada temperatur deposisi yang relatif rendah yaitu sekitar 150-350°C (Sujadtmoko, 2009). Hal ini juga bergantung pada jenis metode yang

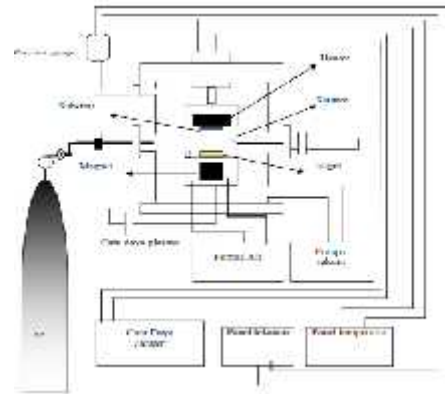
digunakan. Pada penelitian ini akan dilakukan penumbuhan film tipis ZnO: Al dengan variasi temperatur deposisi 27°C, 200°C, 300°C dan 400°C dengan metode DC Magnetron Sputtering. Pengaruh variasi temperatur deposisi terhadap Struktur, dan Sifat Optik dengan menggunakan XRD (*X-ray diffraction*), SEM dan Uv-Vis Spektroskopi.

Pendahuluan memuat tentang latar belakang, landasan teori, masalah, rencana pemecahan masalah dan tujuan penelitian. Pendahuluan ditulis menggunakan huruf Times New Roman ukuran 11, spasi 1 dan fist line 0,38 inch.

Teks diketik di dalam sebuah luasan print dengan margin 1.2 inch dari atas, 1 inch dari bawah dan kiri kertas. Margin sisi kanan dibuat 0.8 inch. Ukuran paper A4, lebar 8,27 inch, tinggi 11,69 inch.

METODE PENELITIAN

Proses penumbuhan film tipis ZnO:Al dengan menggunakan metode dc magnetron sputtering terdiri dari tiga tahapan yaitu, pembuatan target, preparasi substrat, dan deposisi film tipis pada substrat *corning glass*. Bahan yang digunakan pada penumbuhan film tipis ZnO:Al menggunakan bahan ZnO dengan kemurnian 99,99%, dan Al₂O₃ dengan kemurnian 99,999% dengan massa total 10 gram. Proses pembuatan target dimulai dengan pencampuran dan penggerusan serbuk selama kurang lebih 3 jam. Selanjutnya, pemadatan atau pengepresan dengan menggunakan sistem pompa hidrolik menjadi pellet dengan diameter 2,5 cm selama 15 menit. Terakhir, pellet tersebut disintering pada suhu 700°C selama 2,5 jam untuk lebih memadatkan pellet atau target. Target ZnO:Al dibuat dengan fraksi mol ZnO (97%) dan fraksi mol Al (3%). Substrat yang digunakan adalah *corning glass*. Proses preparasi substrat diawali dengan pemotongan substrat dengan ukuran 1 x1 cm. Pencucian substrat dilakukan dengan metanol dan aseton pada ultrasonic bath selama 15 menit. Selanjutnya, substrat dikeringkan dengan di blow gas oksigen dan diberi pasta perak untuk merekatkan substrat pada anoda dalam *DC magnetron sputtering* serta gas argon sebagai gas pen-sputter. Skema Sistem Reaktor homemade *DC Magnetron Sputtering*. Ditunjukkan pada Gambar 1.



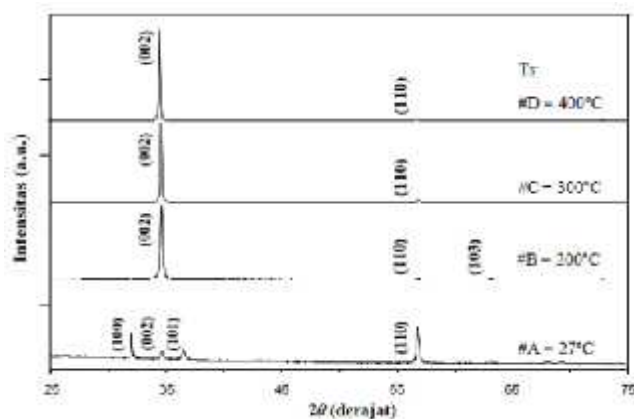
Gambar 1 Sistem Reaktor *DC Magnetron Sputtering*.

Parameter penumbuhan film tipis ZnO:Al pada penelitian ini dengan menggunakan tekanan penumbuhan, waktu deposisi dan daya Plasma yang dibuat konstan yaitu 500 mTorr , 120 menit, dan 40,00 watt. Sedangkan temperatur deposisi divariasikan dengan temperatur 27°C, 200°C, 300°C, dan 400°C. Selanjutnya sampel film tipis ZnO:Al dikarakterisasi dengan XRD (*X-ray diffraction*), SEM, dan UV-Vis spektroskopi. Karakterisasi XRD (*X-ray diffraction*) digunakan untuk mengetahui struktur kristal dan orientasi bidang kristal. Karakterisasi SEM dilakukan untuk mengetahui struktur permukaan kristal dari film tipis yang diperoleh. Dan sifat optik film dapat diketahui dari karakterisasi Uv-Vis spektroskopi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

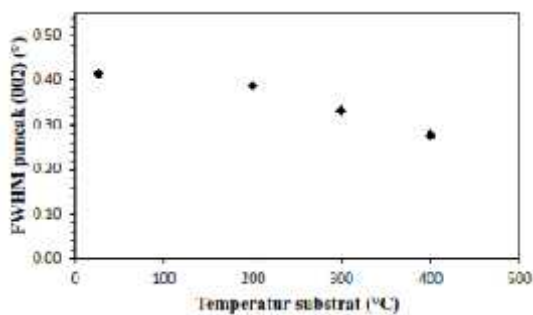
Berdasarkan analisis XRD, film tipis ZnO:Al yang ditumbuhkan dengan variasi temperatur deposisi 27°C, 200°C, 300°C, dan 400°C dengan tekanan 500 mTorr dan daya plasma 40 W yang dibuat tetap menunjukkan bahwa film yang terbentuk adalah polikristalin. Hasil ini sesuai dengan penelitian Subramanyam *et al* (1999). Struktur kristal dipengaruhi oleh temperatur deposisi pada saat penumbuhan (Baji *et al.*, 2011). Pola difraksi yang muncul pada saat film ditumbuhkan pada variasi temperatur deposisi menunjukkan *peak* yang paling dominan adalah (002), seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Pola difraksi yang bervariasi dapat disebabkan oleh besarnya peluang atom-atom untuk terdeposit pada keadaan sebenarnya di dalam film. Pada temperatur tinggi, tumbukan atom-atom dalam kristal semakin cepat. Pada saat berkas sinar-X menumbuk atom dalam kristal, masing-masing atom menghasilkan

gelombang terdifraksi. Gelombang ini akan berinterferensi menghasilkan intensitas puncak difraksi yang bervariasi. Intensitas puncak difraksi yang tinggi dipengaruhi oleh banyaknya bidang-bidang pemantul pada susunan atom dalam film. Interferensi dari gelombang terdifraksi akan saling menguatkan dengan banyaknya bidang-bidang pemantul yang menyebabkan semakin tinggi intensitasnya, sehingga semakin tinggi temperatur substrat maka intensitas puncak difraksi (002) yang dihasilkan semakin tinggi (Subramanyam *et al.*, 1999).



Gambar 2 Spektrum XRD Film Tipis ZnO:Al dengan Variasi Temperatur deposisi.

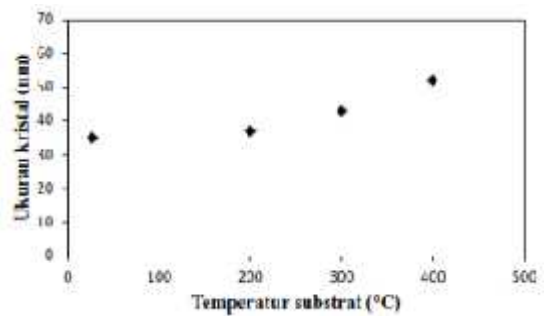
Kualitas kristal yang baik secara umum ditunjukkan dengan intensitas puncak difraksi yang tinggi dan nilai *full width at half maximum* (FWHM) yang kecil. Gambar 3 menunjukkan pengaruh temperatur deposisi terhadap nilai FWHM pada puncak difraksi (002) film tipis ZnO:Al dengan tekanan 500 mTorr dan daya plasma 40 W yang dibuat tetap.



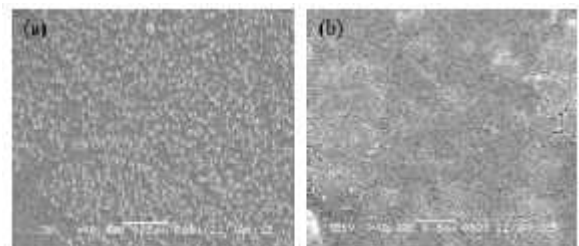
Gambar 3. Pengaruh Variasi temperatur deposisi terhadap nilai FWHM peak (002) Film tipis ZnO:Al

Peningkatan temperatur deposisi menyebabkan nilai FWHM semakin menurun. Temperatur deposisi yang semakin meningkat menyebabkan atom-atom yang berada pada permukaan substrat mudah untuk homogen (mempunyai susunan yang sama dalam setiap unsur volumenya) dan mempunyai orientasi yang sama, serta bergerak stabil, sehingga film mempunyai kualitas kristal yang semakin baik. Berdasarkan nilai intensitas puncak difraksi tertinggi dan nilai FWHM yang dimiliki film, film yang ditumbuhkan pada temperatur 400°C mempunyai kualitas kristal yang paling baik dibandingkan dengan film yang ditumbuhkan pada temperatur 27°C, 200°C, dan 300°C.

Penurunan nilai FWHM film ZnO:Al berkebalikan dengan ukuran kristal yang menjadi lebih besar dengan bertambahnya temperatur deposisi. Pengaruh temperatur deposisi terhadap besarnya ukuran kristal film ZnO:Al dengan puncak difraksi (002) ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Ukuran kristal film tipis ZnO:Al sebagai fungsi temperatur deposisi.



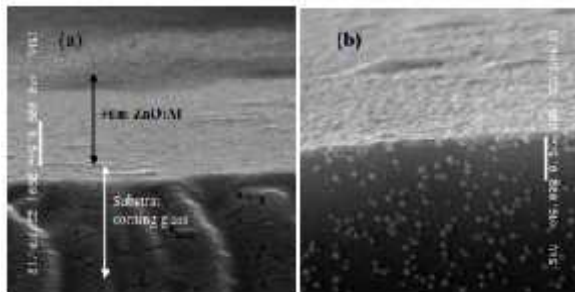
Gambar 5 Citra SEM Film Tipis (a) ZnO:Al yang ditumbuhkan pada temperatur 27°C dan (b) ZnO:Al yang ditumbuhkan pada temperatur 400°C

Struktur mikro lapisan tipis dapat diketahui dengan menggunakan SEM. Struktur mikro lapisan tipis bergantung pada kinematika

penumbuhan yang dipengaruhi oleh temperatur deposisi. Berdasarkan karakterisasi menggunakan SEM dapat diketahui pengaruh temperatur deposisi terhadap morfologi permukaan film. Hasil karakterisasi berupa citra penampang permukaan (*surface*) dan penampang lintang (*cross section*). Hasil analisis penampang tersebut dapat diketahui adanya *grain boundaries* dan kerataan permukaan dari film. Citra SEM permukaan film tipis ZnO:Al ditunjukkan pada Gambar 5.

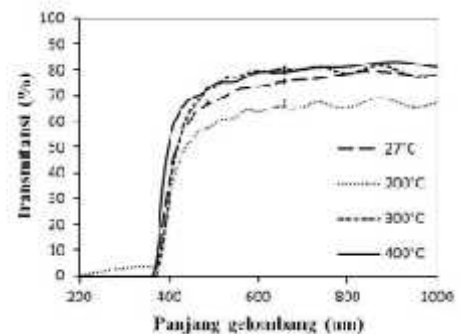
Gambar 5(a) menunjukkan citra SEM permukaan film tipis ZnO:Al yang ditumbuhkan pada temperatur 27°C mempunyai ukuran butir relatif lebih kecil dan masih terdapat kekosongan. Hal ini terjadi karena mobilitas atom-atom yang terpercik dari permukaan target ZnO:Al masih rendah. Gambar 5(b) menunjukkan citra SEM permukaan film tipis ZnO:Al yang ditumbuhkan pada temperatur 400°C mempunyai ukuran butir lebih besar. Tampak dari citra SEM, film tipis ZnO:Al yang ditumbuhkan pada temperatur 27°C dan 400°C menghasilkan permukaan film yang masih terdapat kekosongan, citra penampang permukaan film menunjukkan atom-atom belum terdeposit menutupi seluruh lapisan substrat.

Gambar 6 menunjukkan gambar SEM penampang melintang untuk film tipis ZnO:Al yang ditumbuhkan pada temperatur deposisi 27°C dan 400°C. Penampang melintang film hasil karakterisasi dengan SEM menunjukkan ikatan dan kontak antara film tipis ZnO:Al dengan substrat terjadi dengan baik, karena pada daerah sambungan antara permukaan substrat dan permukaan film relatif rata dan tidak menunjukkan adanya rongga.



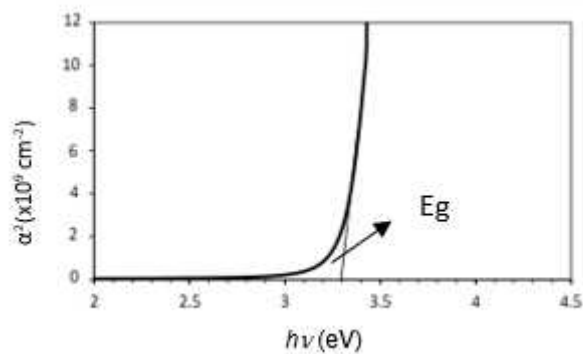
Gambar 6 Citra SEM penampang melintang film tipis (a) ZnO:Al yang ditumbuhkan pada temperature 27°C dan (b) ZnO:Al yang ditumbuhkan pada temperatur 400°C

Gambar 7 menunjukkan karakterisasi UV-Vis spektroskopi untuk film tipis ZnO:Al yang dihasilkan. Hasil karakterisasi berupa grafik hubungan panjang gelombang (λ) terhadap nilai transmitansi. Karakteristik transmitansi film ZnO:Al diukur dalam kisaran panjang gelombang dari 200-1000 nm. Sifat transparan yang dihasilkan berkaitan dengan kualitas film yang terbentuk dan dapat dipengaruhi oleh struktur kristal dan ukuran butir. Transmitansi optik film ZnO:Al meningkat dengan bertambahnya temperatur deposisi. Peningkatan temperatur deposisi menyebabkan ukuran butir menjadi lebih besar yang ditunjukkan pada Gambar 5 dan sesuai dengan ukuran kristal hasil analisis XRD yang ditunjukkan pada Gambar 4 yang semakin besar dengan bertambahnya temperatur deposisi. Semakin besar ukuran butir maka densitasnya semakin berkurang (Tokumoto *et al.*, 2002). Densitas yang berkurang menyebabkan cahaya yang ditransmisikan semakin besar. Hal ini menyatakan bahwa transmitansi optik juga dipengaruhi temperatur deposisi, dengan temperatur deposisi yang semakin meningkat, transmitansi optik pada rentang 200–1000 nm meningkat dari 70% sampai 83%.



Gambar 7 Transmitansi Film ZnO:Al yang Ditumbuhkan dengan Variasi Temperatur Substrat.

Berdasarkan karakterisasi Uv-Vis spektroskopi, dapat juga diperoleh nilai energi *band gap* film tipis ZnO:Al dengan metode *touc plot*. Nilai energi *Band gap* film tipis ZnO:Al diperoleh melalui extrapolasi dari grafik 2 dan h , sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8 Plot α^2 vs Band Gap Film Tipis ZnO:Al

Gambar 8 menunjukkan bahwa *band gap* film tipis ZnO:Al sebesar 3,30 eV. Variasi temperatur deposisi tidak berpengaruh terhadap besarnya nilai energi *band gap*. Energi *band gap* film tipis ZnO:Al lebih besar daripada film tipis ZnO (Deng *et al.*, 2010). Pita absorpsi bergeser ke panjang gelombang yang lebih pendek pada saat ZnO didoping dengan Al, sehingga film tipis ZnO:Al memiliki *band gap* yang lebih lebar dibandingkan film tipis ZnO.

PENUTUP

Penumbuhan film tipis ZnO:Al di atas substrat corning glass dengan metode DC magnetron sputtering telah berhasil dilakukan. Temperatur deposisi berpengaruh terhadap struktur dan sifat optik film tipis ZnO:Al. Hasil analisis XRD menunjukkan bahwa peningkatan temperatur deposisi menyebabkan film tipis ZnO:Al mempunyai kualitas kristal yang semakin baik. Film yang ditumbuhkan pada temperatur 400°C menunjukkan nilai FWHM puncak difraksi (002) paling kecil dan intensitas puncak difraksi (002) paling tinggi. Analisis SEM menunjukkan film tipis ZnO:Al yang ditumbuhkan pada temperatur deposisi 400°C mempunyai ukuran butir yang paling besar. Sifat optik (transmitansi) film tipis ZnO:Al menunjukkan nilai transmitansi terbesar sekitar 83%.

DAFTAR PUSTAKA

Dengyuan, Song (2005). Zinc Oxide TCOs (Transparent Conductive Oxides) And Polycrystalline Silicon Thin-Films For Photovoltaic Applications. Tesis Doktor pada University of New South Wales.

Ellmer, K. 2000. *Magnetron Sputtering of Transparent Conductive Zinc Oxide: Relation between the Sputtering Parameters and the Electronic Properties*. J. Phys. D: Appl. Phys. *method for transparent electrodes*

Han, Jiaping, P.Q. Mantas, & A.M.R. Senos. 2000. Effect of Al and Mn doping on the Electrical Conductivity of ZnO. Elsevier. *Journal of the European Ceramic Society* 21 (2001) 1883-1886.

Jang, M.S., M.K. Ryu, M.H. Yoon, S.H. Lee, H.K. Kim, A. Onodera, & S. Kojima, 2008. A Study on the Raman Spectra of Al-doped and Ga-doped ZnO Ceramics. Elsevier. *Current Applied Physics* 9 (2009) 651-657.

Kang, Seong Jun & Yang Hee Joung. 2007. Influence of Substrate Temperature on the Optical and Piezoelectric Properties of ZnO Thin films Deposited by RF Magnetron Sputtering. Elsevier. *Applied Surface Science* 253 7330-7335.

Kim *et al* , Do-Hyun, Hoonha Jeon, Gheumchae Kim, Suejeong Hwang Boe, Ved Prakash Verma, Wonbong Choi, & Minhyon Jeon. 2007. Comparison of the Optical Properties of Undoped and Ga-doped ZnO Thin Films Deposited using RF Magnetron Sputtering at Room Temperatur. Elsevier. *Optics Communications*, 281 (2008) 2120-2125.

Kuo, Shou-Yi, Wei-Chun Chen, Fang-I Lai, Chin-Pao Cheng, Hao-Chung Kuo, Shing-Chung Wang, & Wen-Feng Hsieh. 2006. Effects of Doping Concentration and Annealing Temperatur on Properties of Highly-Oriented Al-Doped ZnO Films. Elsevier. *Journal of Crystal Growth*, 287 78-84.

Park, Jong Pil, Sin Kyu Kim, Jae-Young Park, Kang Min Ok, & II-Wun Shim. 2009. Preparation of ZnO Thin Films Using ZnO-Containing Single Precursor Through MOCVD Method. *Bull. Korean Chem. Soc.* Vol.30, No.1.

- Patel, K. J., M. S. Desai, & C. J. Pancal. 2010. Properties of RF Magnetron Sputtered Indium Tin Oxide Thin Films on Externally Unheated Glass Substrate. Springer Science. *Mater Electron* (2011) 22:959-965.
- Shinde.V.R et. al. (2007). "Studies on growth of ZnO thin films by a novel chemical method". *Solar energy Material & Solar Cell*. 91, 1055-1061.
- Sim, Kyu Ung, Seung Wook Shin, A.V. Moholkar, Jae Ho Yun, Jong Ha Moon, & Jin Hyeok Kim. 2010. Effect of dopant (Al, Ga, and In) on the Characteristics of ZnO Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering System. Elsevier. *Current Applied Physics* 10 (2010) 5463-5467.
- Sinaga. 2009. Pengaruh temperatur Annealing terhadap Struktur Mikro, Sifat Listrik, Sifat Optik Dari Film Tipis Oksida Konduktif Transparan ZnO: Al yang dibuat Dengan Teknik Screen Printing. Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia. *Jurnal Pengajaran MIPA*, Vol. 14 No. 2.
- Subramanyam, T.K., B.Srinivasulu Naidu, & S. Uthanna. 1999. Effect of Substrate Temperature on The Physical Properties of DC Reactive Magnetron Sputtered ZnO Films. Elsevier. *Optical Materials* 13 239±247.
- Suchea, M., S. Christoulakis, N. Katsarakis, T. Kitsopoulos, & G. Kiriakidis. 2007. Comparative study of zinc oxide and aluminum doped zinc oxide transparent thin films grown by direct current magnetron sputtering. Elsevier. *Thin Solid Films* 515 6562– 6566.
- Suchea, S. Christoulakis, N.Katsarakis, T.Kitsopoulos, G.Kiriakidis. 2007. *Comparative study of zinc oxide and aluminum doped zinc oxide transparent thin films grown by direct current magnetron sputtering*. Institute of Electronic Structure and Laser, Foundation for Research and Technology-Hellas, P.O. Box 1527, Vasilika Vouton, 711 10 Heraklion, Crete, Greece.
- Suprayogi Dwi. 2014. Pengaruh doping galium oksida pada karakteristik film tipis seng oksida ditumbuhkan dengan metode dc magnetron sputtering. Skripsi. Semarang: FMIPA Unnes.
- Tokumoto, MS., A. Smith, C.V. Santilli, S.H. Pulcinelli, A.F. Craievich, E. Elkaim, A. Traverse, & V. Briois. 2002. Structural Electrical and Optical Properties of Undoped and Indium Doped ZnO Thin Films Prepared by The Pyrosol Process at Different Temperatures. Elsevier. *Thin Solid Films* 416 (2002) 284–293.
- Tsay, Chien-Yie, Hua-Chie Cheng, Yen-Ting Tung, Wei-Hsing Tuan, & Chung-Kwei Lin. Effect of Sn-doped on Microstructural and Optical Properties of ZnO Thin Films Deposited by Sol Gel Method. Elsevier. *Thin Solid Films* 517 (2008) 1032-1036.
- Zhou, Hong-ming, Dan-qing Yi, Zhi-ming Yu, Lai-rong Xiao, & Jian Li. 2007. Preparation of Aluminum Doped Zinc Oxide Films and The Study of Their Microstructure, Electrical and Optical Properties. Elsevier. *Thin Solid Films* 515 (2007) 6909–6914.