

VARIASI SUHU DEPOSISI PADA STRUKTUR, SIFAT OPTIK DAN LISTRIK FILM TIPIS SENG OKSIDA DENGAN DOPING GALIUM (ZNO:GA)

DEPOSITION TEMPERATURE VARIATIONS ON THE STRUCTURE, OPTICAL AND ELECTRICAL PROPERTIES OF ZINC OXIDE THIN FILMS DOPED GALLIUM (ZNO:GA)

Sulhadi¹, Fatiatun¹, P. Marwoto¹, Sugianto¹, E. Wibowo²

¹Materials Research Group, Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Semarang, Indonesia

²Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknik, Universitas Telkom, Indonesia

Diterima: 1 September 2014. Disetujui: 20 Oktober 2014. Dipublikasikan: Januari 2015

ABSTRAK

Telah dilakukan deposisi film tipis ZnO:Ga di atas substrat kaca korning pada tekanan deposisi 500 mtorr dengan metode *DC-magnetron sputtering*. Film ditumbuhkan masing-masing pada suhu 325°C, 375°C, dan 425°C. Struktur, sifat optik dan sifat listrik film tipis yang dideposisikan telah dikarakterisasi dengan menggunakan EDX, XRD, SEM, spektrofotometer UV-Vis dan I-V Meter. Analisis EDX menunjukkan bahwa film yang terdeposisi merupakan film tipis ZnO:Ga. Hasil analisis struktur dengan XRD menunjukkan bahwa film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan merupakan polikristalin dengan struktur heksagonal wurtzite. Film ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 325° mempunyai kualitas kristal yang lebih baik dibandingkan dengan film yang dideposisikan pada suhu 375° dan 425°C. Hasil XRD juga terkonfirmasi dengan observasi SEM menunjukkan bahwa film ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 325°C mempunyai ukuran butir yang lebih homogen dibandingkan dengan film yang ditumbuhkan pada suhu deposisi 375° dan 425°C. Film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 325°C mencapai transmitansi optik ~ 89% dan energi bandgap ~3,33 eV. Sifat listrik dapat diketahui dengan menggunakan I-V Meter yang menunjukkan nilai $1,74 \times 10^{-3} (\Omega\text{cm})^{-1}$ pada suhu deposisi 325°C.

ABSTRACT

Thin films ZnO:Ga were deposited on corning glass substrates with argon gas pressure 500 mtorr and variation temperature at 325°C, 375°C and 425°C by DC-Magnetron Sputtering. The structural studies, optical and electricity properties of the thin films have been investigated by means of EDX, XRD, SEM, UV-Vis spectroscopy and I-V meter. The EDX result shows that thin films were deposited are ZnO:Ga thin films. The structural studies result from XRD shows that the ZnO:Ga thin films deposited have polycrystalline with the hexagonal wurtzite structure. ZnO:Ga films deposited at 325°C have the better crystal quality than the other. The XRD result is also appropriate to SEM observation. It was shown that at 325°C has grain size more homogenous than the other films. ZnO:Ga thin films deposited at 325°C have the optical transmittance ~89% and the band gap ~3,33 eV. The electric properties can be defined by using I-V meter and showed electrical conductivity $1.74 \times 10^{-3} (\Omega\text{cm})^{-1}$ at deposited temperature 325°C.

© 2015 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: Temperature Variation; Thin Film ZnO:Ga; Dc Magnetron Sputtering

PENDAHULUAN

Karakterisasi material ZnO dengan dop-

ing telah dilakukan dengan berbagai teknik deposisi untuk aplikasi elektronik dan optoelektronik. Salah satu aplikasinya yaitu untuk *Transparent Conductive Oxide* (TCO). TCO digunakan sebagai elektroda transparan dalam sel surya, panel display plasma dan sebagain-

*Alamat Korespondensi:

Kampus Sekaran Gunungpati Semarang 50229
E-mail: sulhadipati@yahoo.com

ya. TCO digunakan sebagai bahan pengganti *Indium Tin Oxide* (ITO). Bahan yang diaplikasikan sebagai TCO harus mempunyai sifat transparan yang tinggi dalam daerah tampak, resistivitas rendah, dan stabil terhadap panas. ITO digunakan karena mempunyai sifat optik dan listrik yang bagus (Shin, *et. al.*, 2009).

Film tipis ITO mempunyai konduktivitas $\sim 10^4 \text{ ohm}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ dan transmitansi $\sim 85\%$ dengan bandgap $\sim 3,7 \text{ eV}$ (Rakhsani, *et. al.*, 2009). Namun, ITO tersebut memiliki kelemahan, yaitu biaya produksi yang tinggi sehingga harganya mahal, dan stabilitas yang rendah (Shin, *et. al.*, 2009). Oleh karena itu perlu dikembangkan material baru seperti ZnO yang mempunyai sifat yang hampir sama dengan ITO tetapi harganya lebih murah secara ekonomi, sehingga cocok sebagai bahan alternatif pengganti ITO.

Zinc Oxide (ZnO) merupakan bahan semikonduktor yang memiliki bandgap $\sim 3,37 \text{ eV}$ dengan aplikasi yang luas di bidang elektronik dan optoelektronik dengan energi ikat tinggi (60 MeV) (Rakhsani, *et. al.*, 2009; Kim, *et. al.*, 2010). Selain itu, material ZnO berharga murah dan non-toksik (Kao, *et. al.*, 2012, Sali, *et. al.*, 2008). Akan tetapi ZnO mempunyai kelemahan, yaitu dapat mengalami penurunan konduktivitas listrik yang disebabkan terjadinya proses resapan kimia (*chemisorption*) gas oksigen pada permukaan film tipis ZnO (Shin, *et. al.*, 2009). ZnO juga kurang stabil pada lingkungan korosif dan memiliki sifat listrik yang kurang baik dikarenakan konsentrasi pembawa yang rendah (Buyanova, *et. al.*, 2009). Unsur-unsur golongan III seperti B, In, Al dan Ga biasa digunakan untuk meningkatkan konduktivitas ZnO (Fang, *et. al.*, 2010) Di antara bahan doping, gallium (Ga) merupakan bahan yang paling menjanjikan karena mempunyai beberapa keuntungan, yaitu atom Ga mempunyai jejari yang hampir sama dengan zinc (Zn) sehingga hanya menyebabkan deformasi keksi yang kecil meskipun konsentrasi Ga tinggi. Selain itu, Ga kurang reaktif dan lebih tahan terhadap oksidasi (Ma, *et. al.*, 2007). Ga juga memiliki konduktivitas yang lebih baik daripada aluminium (Li, *et. al.*, 2009).

Teknik fabrikasi ZnO:Ga yang sering digunakan adalah teknik sputtering (Ma, *et. al.*, 2007; Kim, *et. al.*, 2007; Marwoto, *et. al.*, 2014). Pada penelitian sebelumnya, telah dilaporkan pengaruh tekanan gas argon pada sifat film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan dengan metode *dc magnetron sputtering* (Marwoto, *et. al.*, 2014). Dalam penelitian ini telah dipelajari pengaruh suhu deposisi terhadap sifat fisis

yang meliputi struktur mikro, sifat optik dan sifat listrik film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan dengan metode *dc magnetron sputtering*.

METODE

Deposisi film tipis ZnO:Ga dilakukan pada substrat kaca korning dengan menggunakan reaktor *dc-magnetron sputtering* pada tekanan 500 mtorr. Target ZnO:Ga dibuat dari serbuk ZnO dengan kemurnian 99,999% dan serbuk Ga_2O_3 dengan kemurnian 99,999% ditambahkan pada target ZnO sebagai doping. Target berbentuk pelet berdiameter 2,5 cm dengan massa total 10 gram. Dalam eksperimen, telah digunakan 2% (massa) doping Ga. Sebagai gas sputtering telah digunakan gas argon dengan tingkat kemurnian tinggi. Substrat yang dipakai berukuran $1 \times 1 \text{ cm}^2$ dicuci dengan larutan aseton dan metanol menggunakan *ultrasonic bath* selama 15 menit, kemudian dikeringkan dengan disemprot oksigen sebelum dimasukkan ke dalam *chamber* reaktor. Masing-masing sampel film tipis ZnO:Ga dideposisikan dalam waktu 1 jam dengan suhu 325°C , 375°C dan 475°C dengan gas argon kemurnian tinggi 99,999% sebagai sumber plasma, serta daya sputtering sekitar 30 watt.

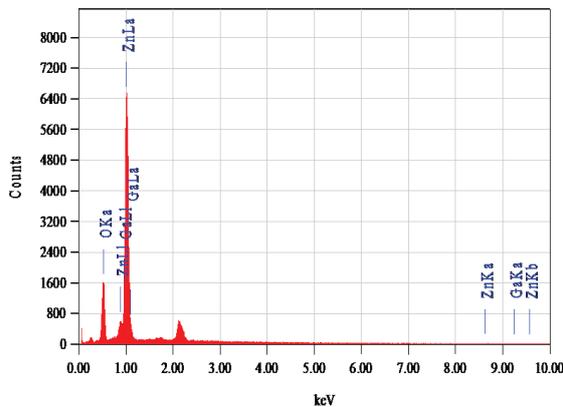
Setelah proses deposisi, komposisi elemen-elemen dan senyawa yang terkandung dalam film ZnO:Ga yang terdposisi dianalisis dengan menggunakan *energy dispersive X-ray* (EDX), sedangkan struktur kristalnya dianalisis menggunakan *X-ray diffraction* (XRD) dengan radiasi CuK_α ($\lambda = 0,15406 \text{ nm}$). Struktur morfologi film diobservasi dengan menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM), dan sifat optik film ZnO:Ga dikarakterisasi dengan menggunakan UV-Vis spektrofotometer, serta I-V Meter digunakan untuk mengetahui sifat listrik film tipis yang telah dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan hasil analisis dan spektrum dengan menggunakan spektroskopi EDX pada sampel ZnO:Ga yang dideposisikan di atas substrat kaca korning pada tekanan 500 mtorr dan suhu deposisi 375° . Spektrum EDX film tipis yang dideposisikan menunjukkan komposisi unsur-unsur seng (Zn) 77,59 %, galium (Ga) 2,56 %, dan oksigen (O) 19,86 %, sedangkan dalam bentuk senyawa diperoleh ZnO 96,56 % dan Ga_2O_3 3,44 %.

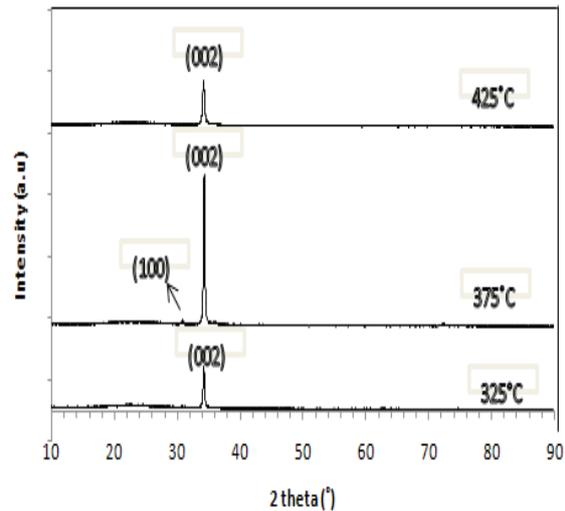
Berdasarkan hasil analisis EDX tersebut dapat menunjukkan bahwa film tipis ZnO:Ga

telah berhasil dideposisikan berdasarkan komposisi yang diperoleh.



Gambar 1. Spektrum EDX sampel film tipis ZnO:Ga

Gambar 2 memperlihatkan pola XRD untuk mengetahui struktur kristal dan orientasi bidang kristal (hkl) film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada tekanan 500 mtorr dengan suhu deposisi masing-masing 325°C, 375°C, dan 425°C. Ketiga film menunjukkan puncak difraksi yang bersesuaian pada bidang (002) dari struktur ZnO heksagonal. Puncak orientasi (002) lebih dominan dibandingkan dengan puncak-puncak difraksi yang lain. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan butiran-butiran (grain) tegak lurus pada permukaan substrat (Shin, *et. al.*, 2009), serta film yang terbentuk memiliki struktur polikristalin (Kim, *et. al.*, 2007). Intensitas relatif bergantung pada temperatur deposisi. Film ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 375°C menunjukkan intensitas yang paling tinggi dibandingkan film yang ditumbuhkan pada suhu 325°C dan 425°C. Peningkatan suhu dari 325°C ke 425°C berpengaruh secara signifikan pada pola spektrum film ZnO:Ga yang terdeposisi. Orientasi puncak difraksi yang muncul yaitu pada bidang (002) dan orientasi puncak-puncak yang lain pada bidang (100), dan (004) pada film ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 375°C. Pola difraksi tidak menunjukkan puncak yang bersesuaian dengan Ga₂O₃. Hasil ini konsisten dengan eksperimen sebelumnya (Marwoto, *et. al.*, 2014). Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa film ZnO:Ga yang dideposisikan merupakan film polikristalin yang mempunyai struktur heksagonal wurtzite dengan arah orientasi sumbu-c tegak lurus pada substrat (Kim, *et. al.*, 2007).



Gambar 2. Spektrum XRD film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 325°C, 375°C dan 425°C

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa peningkatan suhu deposisi dari 325°C sampai suhu 425°C menunjukkan pergeseran sudut Bragg dari 34,26° ke 34,2° dan spasi kekisi d berubah dari 2,615 Å menjadi 2,619 Å. Pergeseran sudut ini menunjukkan setiap film tipis terindikasi adanya *lattice strain*, sehingga dalam keadaan tersebut film akan mengalami *stress* yang seragam dengan adanya penurunan konsentrasi oksigen (Suchea, *et. al.*, 2007). Pergeseran posisi sudut puncak difraksi (002) tersebut konsisten dengan hasil penelitian Shin *et. al.* (2009). Ketiga sampel menunjukkan nilai FWHM yang berbeda dan semakin menurun dengan kenaikan suhu deposisi yaitu pada suhu 325°C sebesar 0,28°, 375°C sebesar 0,33° dan suhu 425°C sebesar 0,36°, film dengan nilai FWHM yang sempit menunjukkan bahwa film memiliki kualitas yang paling baik (Scott, *et. al.*, 2011).

Berdasarkan spektrum XRD film tipis ZnO yang diperoleh dapat diungkap parameter struktur ZnO:Ga sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1. *Crystall size* dapat diukur dengan menggunakan formula Debye-Scherrer (Sali, *et. al.*, 2008):

$$D = (0,9\lambda) / (\beta \cos \theta)$$

dengan D adalah diameter kekristalan pembentukan film, λ adalah panjang gelombang radiasi CuK_{α} ($\lambda = 0,15406$ nm), β adalah FWHM (radian) dan θ adalah sudut Bragg.

Tabel 1. Parameter struktur ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu yang berbeda

Suhu deposisi (°C)	2θ (°)	Konstanta kekisi c (Å)	Crystal size (nm)	Spasi d (Å)
325	34,26	5,230	29	2,615
375	34,24	5,233	25	2,616
425	34,2	5,239	23	2,619

Crystal size yang dimiliki ketiga sampel ini semakin kecil dengan bertambahnya suhu, nilai *crystal size* yang paling besar pada 325°C sebesar 29 nm, namun konstanta kekisi- c dan spasi kekisi d sedikit memanjang ketika suhu deposisi ditingkatkan dari 325° ke 425°. Hal ini terjadi karena spasi kekisi d berbanding terbalik dengan pergeseran sudut. Dibandingkan dengan ZnO standar ($2\theta = 34,45^\circ$ dengan $c = 5,21$ Å) (Ma, *et al.* 2007), ketiga sampel menunjukkan sudut difraksi yang lebih kecil dengan konstanta c dan spasi kekisi d yang lebih besar. Hal tersebut menggambarkan bahwa hanya ada sedikit proses pergantian atom Zn^{2+} yang digantikan dengan atom Ga^{3+} , yang mengakibatkan jarak antar atom menjadi kecil, mengingat jari-jari ionik atom Ga^{3+} (0,62 Å) bernilai lebih pendek daripada jejari ionik Zn^{2+} (0,74 Å).

Pada suhu 375°C, partikel-partikel yang berada di sekitar substrat memiliki energi yang cukup tinggi sehingga sebagian partikel yang menumbuk substrat terpantul kembali dan menghasilkan film ZnO:Ga dengan orientasi bidang (100) dan (004). Energi yang cukup besar akan mengakibatkan arah orientasi pertumbuhan kristal berubah dan menyebabkan menurunnya kristalinitas film ZnO:Ga yang terdeposisi (Ma, *et al.*, 2007). Tumbukan antara partikel dengan substrat atau tumbukan antar partikel berenergi tinggi dapat menyebabkan terputusnya ikatan Zn-O maupun Ga-O sehingga menurunkan derajat kristalinitas film. Selain itu, akibat tumbukan partikel berenergi tinggi dapat menyebabkan arah orientasi kristal dalam bidang (002) menjadi rusak, sehingga pada suhu deposisi 425°C memiliki intensitas puncak spektrum XRD menurun tajam, sebagaimana ditunjukkan oleh spektrum XRD pada Gambar 1.

Dengan demikian, peningkatan suhu deposisi dapat menurunkan kualitas kristal film ZnO:Ga. Hasil ini bertentangan dengan hasil penelitian Shin *et al* (2009) yang melaporkan

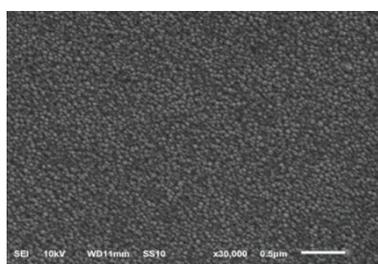
bahwa peningkatan suhu dari 100–300°C dapat meningkatkan kualitas kristal. Munculnya orientasi bidang (100) dan (101) juga dilaporkan oleh Rakhsani, *et. al.* (2009) dari film ZnO:Ga yang ditumbuhkan dengan metode elektrodeposisi. Film ZnO:Ga yang mempunyai orientasi bidang (004) juga telah diperoleh Xue, *et. al.* (2013).

Gambar 3 memperlihatkan struktur morfologi film tipis ZnO:Ga yang diobservasi dengan menggunakan SEM. Film yang ditumbuhkan dengan suhu 325°C dan 425°C menunjukkan permukaan film yang halus dengan ukuran butiran (*grain size*) berdiameter ~50nm dengan susunan yang rapat. Pada permukaan film tersebut tampak butiran-butiran yang tersebar secara homogen. Struktur butiran dengan ukuran yang lebih besar tampak pada permukaan dengan suhu 375°C dengan diameter ~80nm, ukuran butiran yang lebih besar ini kemungkinan karena lapisan film pada permukaan substrat cukup tebal dibandingkan pada suhu 325°C dan 425°C. Pada permukaan ini tampak beberapa bagian yang tidak rata dan berwarna lebih terang. Bagian yang tidak rata tersebut kemungkinan terbentuk dari molekul-molekul Ga_2O_3 atau ion-ion Ga^{3+} yang menggerombol dan membentuk *cluster*.

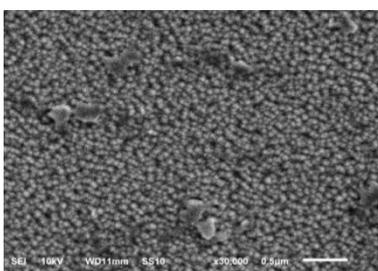
Pada suhu substrat 425°C, partikel-partikel yang mencapai substrat mempunyai energi yang tinggi, sehingga film yang terdeposisi membentuk kristal dengan jarak antar atom yang lebih rapat dan menghasilkan film dengan permukaan yang lebih mampat dan kompak sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 3. Karena energinya cukup tinggi, pada suhu 425°C molekul-molekul Ga_2O_3 atau ion-ion Ga^{3+} dapat terdistribusi secara merata. Namun pada suhu substrat 375°C, partikel-partikel yang mencapai substrat energinya lebih kecil sehingga susunan atom-atomnya lebih renggang. Hal ini menyebabkan ukuran butiran lebih besar. Molekul Ga_2O_3 mempunyai massa yang lebih besar dibandingkan dengan molekul ZnO, sehingga distribusinya tidak merata seperti tampak pada Gambar 3.

Transmitansi film tipis ZnO:Ga sebagai fungsi panjang gelombang dalam range antara 200 – 1000 nm telah diukur dengan menggunakan spektrofotometer UV-vis ditunjukkan dalam Gambar 4. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa suhu deposisi berpengaruh pada transmitansi film tipis ZnO:Ga yang dihasilkan. Transmitansi optik film yang dideposisikan pada suhu 325°C mencapai 89%, dan 375°C mencapai 84%

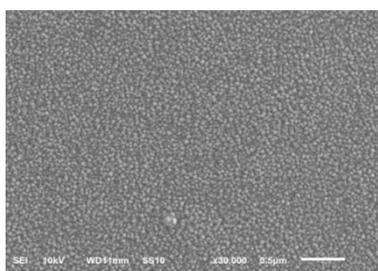
serta 425°C mencapai 88%. Hasil transmittansi yang diperoleh ini sama dengan transmittansi ITO (Shin, *et. al.*, 2009; Tuna, *et. al.*, 2010) dan ZnO:Ga ditumbuhkan dengan rf magnetron-sputtering (Yu, *et. al.*, 2005). Film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 325°C mempunyai transmittansi optik yang paling tinggi dibandingkan dengan transmittansi film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 375°C dan 425°C. Hal ini terjadi karena film yang dideposisikan pada suhu 375°C mempunyai kualitas kristal yang lebih rendah dan kerapatan yang lebih tinggi dibandingkan film ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 325°C. Hasil ini konsisten dengan pola spektrum XRD dan SEM film ZnO:Ga yang dideposisikan.



(a)



(b)

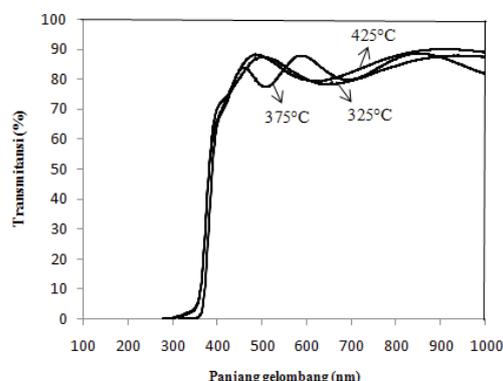


(c)

Gambar 3. Citra SEM film ZnO yang ditumbuhkan pada suhu deposisi: (a) 325°C, (b) 375°C dan (c) 425°C

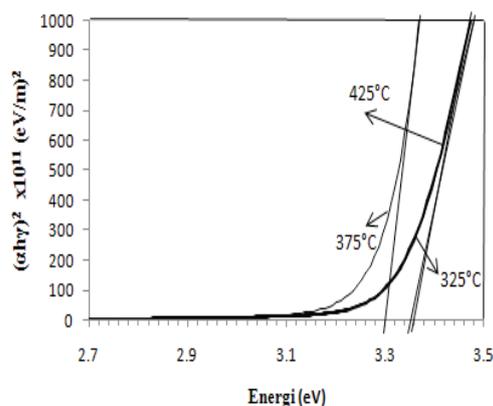
Energi bandgap (E_g) film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan masing-masing pada suhu 325°C, 375°C dan 425°C diperlihatkan pada Gambar 5. Nilai E_g diperoleh dari hasil ekstrapolasi secara linier terhadap grafik hubungan

kuadrat koefisien absorpsi $(\alpha h\nu)^2$ dengan energi $(h\nu)$. Perpotongan garis lurus hasil ekstrapolasi dengan sumbu energi menghasilkan energi bandgap film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan.



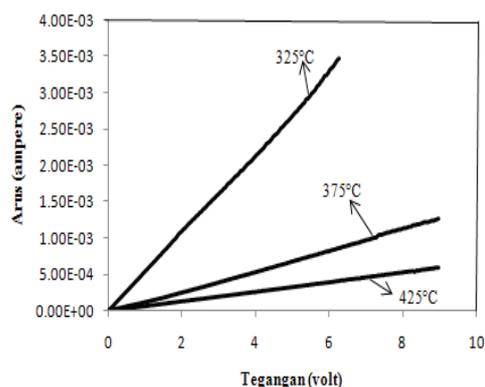
Gambar 4. Transmittansi film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 325°C, 375°C dan 425°C

Gambar 5 menunjukkan bahwa film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu 325°C dan 425°C mempunyai energi bandgap $\sim 3,33$ eV, sedangkan film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 375°C mempunyai energi bandgap $\sim 3,3$ eV. Dengan demikian, lebar energi bandgap berkurang ketika suhu deposisi ditingkatkan dari 325°C menjadi 375°C. Energi bandgap yang diperoleh dalam eksperimen ini ada yang sebanding dengan energi bandgap ZnO tanpa doping ($\sim 3,3$ eV) (Ma, *et. al.*, 2007). Lebar bandgap yang dihasilkan juga pada suhu 325°C dan 425°C memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan ZnO tanpa doping, sehingga dengan adanya penambahan doping Ga pada bahan ZnO dapat memperlebar bandgap.



Gambar 5. Energi bandgap film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 350°C dan 450°C.

Konduktivitas listrik film tipis ZnO:Ga dapat diukur dengan menggunakan I-V Meter berupa grafik arus dan tegangan dengan pola linear yang ditunjukkan dalam Gambar 6. Penggunaan variasi suhu deposisi ini berpengaruh terhadap hasil konduktivitas listrik yang dihasilkan. Hasil pengukuran konduktivitas ditunjukkan dalam Tabel 2.



Gambar 6. Konduktivitas listrik film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 325°C, 375°C dan 425°C

Berdasarkan nilai konduktivitas listrik bahan ZnO:Ga dalam Tabel 2, penggunaan variasi suhu deposisi menghasilkan nilai konduktivitas yang berbeda. Nilai konduktivitas listrik ZnO tanpa doping sangat rendah sehingga perlu adanya doping untuk menaikkan nilai konduktivitas tersebut. Penggunaan doping Ga pada bahan ZnO digunakan untuk menurunkan nilai resistivitas karena adanya atom-atom Ga yang menempati posisi pita di bawah pita konduksi elektron-elektron akan mudah pindah ke pita konduksi. Akibat dari peristiwa tersebut akan merubah sifat kelistrikan bahan ZnO menjadi lebih konduktif.

Tabel 2. Parameter struktur ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu yang berbeda

Suhu deposisi (°C)	Resistivitas (Ωcm)	Konduktivitas (Ωcm) ⁻¹
325	$5,75 \times 10^2$	$1,74 \times 10^{-3}$
375	$2,38 \times 10^3$	$4,19 \times 10^{-4}$
425	$4,75 \times 10^3$	$2,10 \times 10^{-4}$

Konduktivitas listrik bahan ZnO menurun seiring dengan kenaikan suhu deposisi. Berdasarkan penelitian lain, konduktivitas bahan ZnO akan naik sampai pada suhu 300°C (Shin, *et. al.*, 2009). Hal tersebut akan menghasilkan nilai yang berbeda jika suhu terus dinaikkan,

yang akan terjadi justru penurunan nilai konduktivitas listrik, ini karena pada suhu tinggi atom-atom oksigen yang teradsorpsi pada permukaan film dapat menarik elektron dari dalam bulk sehingga jumlah elektron pada permukaan akan berkurang. Penurunan nilai konduktivitas listrik ini juga menunjukkan bahwa atom Ga³⁺ berhasil menggantikan posisi atom Zn²⁺, yang berarti setiap atom Ga³⁺ dapat menyumbang satu elektron bebas.

PENUTUP

Film tipis ZnO:Ga telah berhasil ditumbuhkan dengan metode dc-magnetron sputtering (homemade) di atas substrat kaca koring pada tekanan deposisi 500 mtorr. Film ditumbuhkan masing-masing pada suhu 325°C, 375°C dan 425°C. Film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan mempunyai struktur polikristalin dengan struktur heksagonal wurtzite dengan arah orientasi sumbu-c tegak lurus pada substrat. Suhu deposisi berpengaruh secara signifikan pada struktur film ZnO:Ga. Struktur permukaan film ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 325°C tumbuh dengan butiran yang tersebar homogen dan memiliki nilai FWHM yang lebih sempit dibandingkan dengan film yang ditumbuhkan pada suhu deposisi 375°C dan 425°C. Transmittansi optik film yang dideposisikan pada suhu 325°C mencapai 89%. Film tipis ZnO:Ga yang ditumbuhkan pada suhu deposisi 375°C dan 425°C mempunyai transmittansi optik yang lebih rendah dibandingkan dengan transmittansi film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 325°C, dan memiliki energi bandgap lebar $\sim 3,33$ eV, sedangkan film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan pada suhu 375°C mempunyai energi bandgap $\sim 3,28$ eV. Konduktivitas listrik film tipis yang dihasilkan pada suhu 325°C memiliki nilai paling tinggi yaitu $1,74 \times 10^{-3}$ (Ωcm)⁻¹, sehingga bisa dikatakan bahwa dengan kenaikan suhu deposisi akan mengakibatkan penurunan nilai konduktivitas listrik. Berdasarkan hasil karakterisasi yang dilakukan menunjukkan bahwa pada suhu 325°C memiliki struktur kristal, sifat optik dan sifat listrik yang cocok untuk aplikasi TCO.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Laboratorium Terpadu Institut Teknologi Bandung yang telah membantu dalam karakterisasi XRD, SEM, EDAX dan UV-Vis.

DAFTAR PUSTAKA

- Buyanova, I.A., wang, X.J., Wang, W.M., Tu, C.W., dan Chen, W.M., (2009), Superlattices and microstructure effect of Ga doping on optical and structural properties of ZnO epilayers, *Superlattices and Microstructures*, Vol. 45, 4-5.
- Fang, L., Zhou, K., Wu, F., Huang, Q. L., Yang, X. F., dan Kong C. Y., (2010), Effect of Ga doping concentration on electrical and optical properties of Nano-ZnO:Ga transparent conductive films, *J. Supercond. Magn.* Vol. 23, 885–888.
- Kao, J.Y., Tsao, C.C., Li, W.S., dan Hsu, C.Y., (2012), Optimization of gallium-doped ZnO thin films grown using Grey-Taguchi technique, *J. Comput. Electron.*, Vol. 11, 421- 430.
- Kim, C.E., Moon, P., Kim, S., Myoung, J.M., Jang, H.W., Bang J., dan Yun I., (2010), Effect of Carrier Concentration on Optical Bandgap Shift in ZnO:Ga Thin Films. Elsevier. *Thin Solid Films* 518 6304–6307.
- Kim, K.H., dan Arifin, E., (2007), *The effect of gallium concentration and substrate temperature on the properties of Ga-doped ZnO thin films sputtered from powder compacted target*, Metals and Materials International, Vol. 13 (6), 489 – 494.
- Li, M.C., Kuo, C.C., Chen, S.H., dan Lee, C.C., 2009. Optical and Electric Properties of Aluminium-Gallium Doped Zinc Oxide for Transparent Conducting Film. *Thin Film Solar Technology*. Proc. of SPIE Vol 7409.
- Ma, Q.B., Ye, Z.Z., He, H.P., Zhu, L.P., Zhao, B.H., (2007), Effects of deposition pressure on the properties of transparent conductive Zn:Ga films prepared by DC reactive magnetron sputtering, *Materials Science in Semiconductor Processing*, Vol. 10, 167–172.
- Marwoto, P., Fatiatun, Astuti, B., Sulhadi, Aryanto, D., dan Sugianto (2014), Effect of argon pressure on the properties of ZnO:Ga thin films deposited by DC magnetron sputtering, *International Conference of Theoretical and Applied Physics (ICTAP) 2014*, 16 – 17 Oktober 2014.
- Rakhsani, A.E., Bumajdad, A., Kokaj, J., dan Thomas, S., (2009), Structure, composition and optical properties of ZnO:Ga films electrodeposited on flexible substrates, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, 97, 759 – 764.
- Sali, S., Boumaour M., dan Ighil R.T., (2008), Preparation and Characteristic of Low Resistive Zinc Oxide Thin Films Using Chemical Spray Technique for Solar Cells Application The Effect of Thickness and Temperature Substrate. *Revue des Energies Renouvelables CICME'08 Sousse* 201-207.
- Scott, R.C., Leedy, K.D., Bayraktaroglu, B., Look, D.C., Smith, D.J., Ding, D., Lue, X., dan Zang, Y.H., (2011) Influence of Substrate Temperature and Post-Deposition Annealing on Material Properties of Ga-Doped ZnO Prepared by Pulsed Laser Deposition. *Journal of Electronic Materials*. Vol.40, No.4.
- Shin, H.H., Joung, Y.H., dan Kang, S.J., (2009), Influence of the substrate temperature on the optical and electrical properties of Ga-doped ZnO thin films fabricated by pulsed laser deposition, *J. Mater Sci: Mater Electron* 20, 704 – 708.
- Suchea, M., Christoulakis, S., Katsarakis, N., Kitsopoulos, T., dan Kiriakidis, G., (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.
- Tuna, O., Selamat, Y., Aygun, G., dan Ozyuzer, L., (2010), High quality ITO thin films grown by dc and RF sputtering without oxygen, *Journal of Physics D: Appl. Phys.* 43, 0055402 (7 pp)
- Xue, Y., He, H., Jin, Y., Lu, B., Cao, H., Jiang J., Bai S., dan Ye Z., (2013), Effects of oxygen plasma treatment on the surface properties of Ga-doped ZnO thin films, *Applied Physics A: Materials Science and Processing*, DOI 10.1007/s00339-013-7718-z.
- Yu, X., Ma, J., Ji F., Wang, Y., Zhang, X., Cheng, C., dan Ma, H., (2005), *Effects of sputtering power on the properties of ZnO:Ga films deposited by rf magnetron-sputtering at low temperature*, Journal of Crystal Growth 274, 474 – 479.