

# PENGARUH KONDISI PENUMBUHAN PADA SIFAT FISIS FILM TIPIS $\text{Ga}_2\text{O}_3$ DENGAN DOPING ZNO

---

Sulhadi, Putut Marwoto, dan Sugianto

Fakultas Matematika Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang

Abstrak. Telah dapat ditumbuhkan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  di atas substrat silikon menggunakan dc magnetron sputtering (home made). Parameter deposisi yang divariasikan dalam pembuatan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  adalah daya plasma. Proses penumbuhan dilakukan selama 3 jam. Struktur film dipelajari dengan menggunakan difraksi sinar X (XRD) dan SEM. Hasil difraktogram XRD dibandingkan dengan data JCPDS untuk mengidentifikasi struktur kristal yang tumbuh. Film tipis yang ditumbuhkan dengan daya plasma 20,15 W dan 24,10 W teramati puncak difraksi bersesuaian dengan orientasi bidang (201) yang menunjukkan lapisan tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  memiliki struktur monoklinik dan intensitas tertinggi bersesuaian dengan orientasi bidang (400) pada fase kubik. Pada citra SEM dengan perbesaran 10.000 kali teramati bahwa film yang ditumbuhkan dengan daya plasma 20,15 W mempunyai morfologi yang lebih rata. Kondisi tersebut dikarenakan atom-atom yang menempel pada substrat ada yang terlepas terlebih dahulu sebelum datang atom-atom yang tersputter dari target. Hal ini sebagai konsekuensi laju atom yang menuju substrat relatif rendah karena ditumbuhkan pada daya plasma yang juga relatif rendah.

**Kata kunci:**  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$ , daya plasma, XRD, SEM, dc magnetron sputtering.

## PENDAHULUAN

ZnO merupakan bahan semikonduktor *direct-gap* dengan bandgap di sekitar 3,37 eV pada suhu kamar (Osada, *et al* 2005). Dengan karakteristik fisis seperti itu, ZnO merupakan kandidat yang baik untuk dikembangkan sebagai piranti optik gelombang pendek seperti transparent conducting electrodes flats panel display dan sel surya. Li, *et al* (2003) telah melaporkan bahwa  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dengan doping Zn yang ditumbuhkan dengan metode *spin coating* berpotensi untuk aplikasi devais sensor. Kaul, *et al* (2005) telah menunjukkan bahwa film  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  yang dideposisikan dengan metode MOCVD menunjukkan spektrum fotoluminisensi dalam warna hijau. Hasil observasi dengan SEM dan AFM pada Ga-doping ZnO yang ditumbuhkan dengan teknik *photo laser deposition* (PLD) menunjukkan *nanoscale phenomena* (Shan, *et al* 2006).

Pengaruh kondisi penumbuhan pada sifat Ga-doping ZnO telah dilaporkan oleh Yamada, *et al* (2006). Dalam eksperimennya, mereka menunjukkan bahwa aliran oksigen yang berlebihan pada penumbuhan film tipis Ga-doping ZnO dengan metode ion plating telah menurunkan sifat-sifat kelistrikannya. Yamamoto, *et al* (2004) juga telah melaporkan peningkatan aliran oksigen yang berlebihan akan menurunkan konsentrasi pembawa dan mobilitas Hall film tipis Ga:ZnO yang ditumbuhkan dengan metode ion plating. Osada, *et al* (2005) menunjukkan bahwa aliran gas oksigen yang tidak berlebihan pada penumbuhan Ga:Z yang ditumbuhkan dengan metode ion plating dapat memperbaiki *defect* yang terjadi selama penumbuhan. Yu, *et al* (2004) juga telah melaporkan pengaruh kondisi penumbuhan pada sifat film tipis ZnO:Ga yang dideposisikan dengan metode *rf sputtering*. Mereka memperoleh bahwa film tipis ZnO:Ga mempunyai struktur

hexagonal wurtzite dengan orientasi (002), transmitansi film dalam cahaya tampak di atas 90% dan mempunyai resistivitas terendah pada  $3,9 \times 10^{-4} \Omega\text{m}$ .

Pada penelitian ini penumbuhan lapisan  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dilakukan dengan metode *dc-unballanced magnetron sputtering* karena biaya operasionalnya murah, relatif mudah dilakukan dan dapat menghasilkan film yang cukup luas. Selanjutnya dilakukan kajian pengaruh kondisi penumbuhan dan doping Zn pada sifat fisis film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  yang ditumbuhkan dengan metode *dc magnetron sputtering*. Kondisi (parameter) penumbuhan film tipis ini sangat menentukan kualitas film yang dihasilkan. Masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kondisi penumbuhan adalah daya plasma pada sifat fisis film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  yang ditumbuhkan dengan metode *dc magnetron sputtering*. Sifat fisis yang dikaji adalah struktur kristal dan morfologi.

## METODE PENELITIAN

Penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dilakukan dengan reaktor *dc magnetron sputtering* dengan skema seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Proses penumbuhan film  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dengan teknik *dc magnetron sputtering* dilakukan dengan mekanisme sebagai berikut. Pertama, pembuatan target berupa *pellet*  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dari serbuk  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  (99,999%) produksi *STREM Ltd.* dengan urutan proses: penggerusan, pemadatan, sintering pada  $900^\circ\text{C}$  selama 3 jam. Kedua, preparasi substrat yang meliputi pemotongan dan pencucian substrat dengan aseton dan metanol dalam ultrasonic bath masing-masing selama 10 menit. Kemudian dicelup dalam larutan HF 10% selanjutnya dikeringkan dengan somprotan gas nitrogen yang dilanjutkan penumbuhan film  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dengan menggunakan reaktor *dc magnetron sputtering* di Laboratorium Fisika UNNES. Sebelum proses deposisi dimulai reaktor divakumkan dengan aliran nitrogen. Proses penumbuhan dilakukan selama 3 jam.

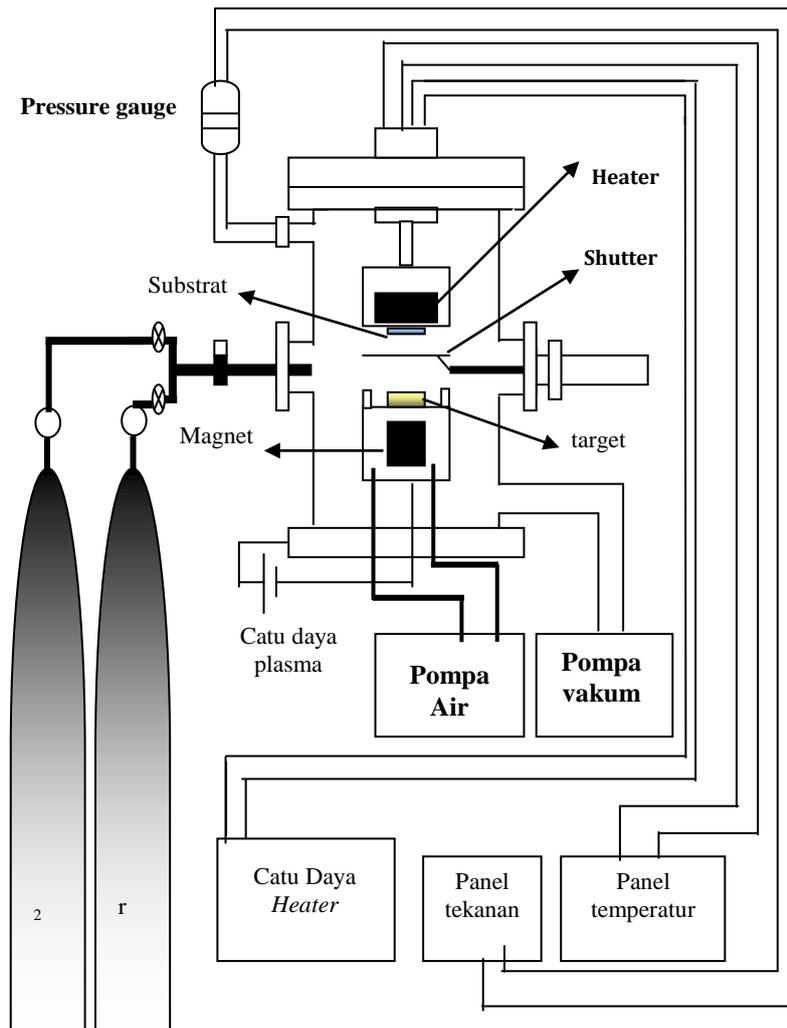
Pada penelitian ini telah ditumbuhkan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dengan doping ZnO dengan memvariasikan daya plasma (20,15watt–51,39watt). Struktur film dianalisis dengan menggunakan XRD dan SEM.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  doping ZnO telah dapat ditumbuhkan di atas substrat silikon menggunakan metode *dc magnetron sputtering*. Parameter deposisi yang divariasikan dalam pembuatan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  adalah daya plasma. Proses penumbuhan dilakukan selama 3 jam. Parameter penumbuhan ditunjukkan pada tabel 1.

**Tabel 1. Parameter Penumbuhan Film Tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  pada substrat silikon.**

No Sampel	Suhu	Daya Plasma	Tekanan Argon
G#1	635°C	24,10 watt	500 mTorr
G#2	600°C	44,39 watt	500 mTorr
G#3	635°C	44,62 watt	500 mTorr
G#4	600°C	51,39 watt	500 mTorr
G#5	645°C	20,15 watt	500 mTorr

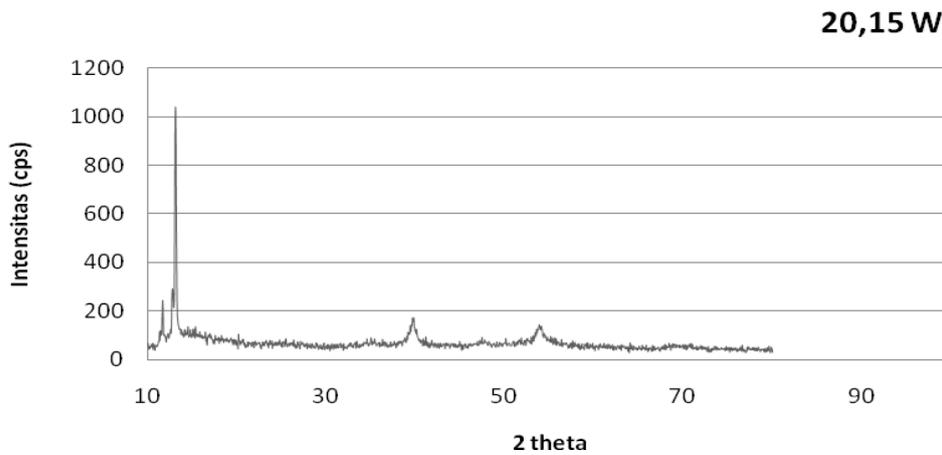
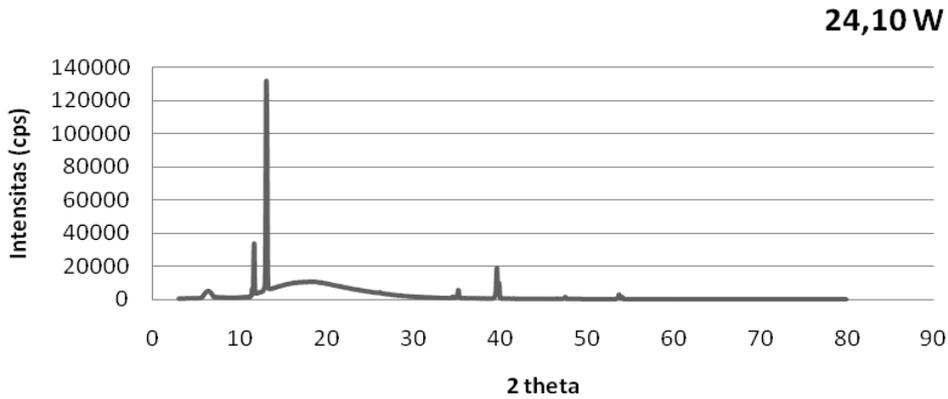


**Gambar 1. Sistem reaktor *dc magnetron sputtering***

### **Hasil Karakterisasi Film Tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:ZnO dengan XRD**

Gambar 2. menunjukkan pengaruh daya plasma terhadap pola difraksi XRD film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doping ZnO 2% di atas substrat *silikon* pada tekanan gas argon 500mTorr, dan waktu deposisi 3 jam.

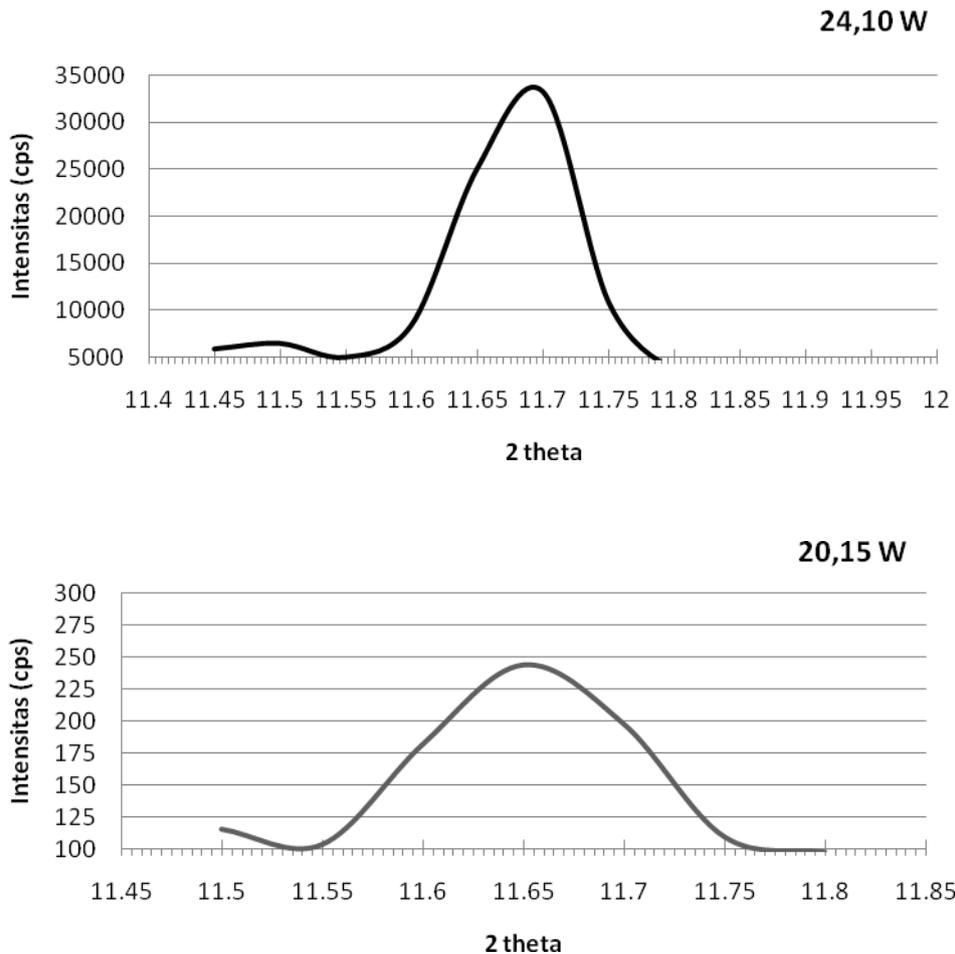
Hasil difraktogram XRD dibandingkan dengan data JCPDS untuk mengidentifikasi struktur Kristal yang tumbuh. Film tipis yang ditumbuhkan dengan daya plasma 20,15 W (sampel G#5) teramati puncak difraksi berada pada sudut  $2\theta = 11,65^\circ$  bersesuaian dengan orientasi bidang (201) dan intensitas tertinggi pada sudut  $2\theta = 13,30^\circ$  dengan orientasi bidang (400). Ketika dayanya dinaikkan menjadi 24,10 W (sampel G#A) juga teramati puncak yang bersesuaian dengan orientasi (201) pada sudut  $2\theta = 11,66^\circ$ , yang menunjukkan lapisan tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:ZnO memiliki struktur monoklinik, sedangkan intensitas tertinggi pada sudut difraksi  $2\theta = 13,09^\circ$  dengan orientasi bidang (400) pada fase kubik. Namun, ketika daya plasmanya dinaikkan menjadi 44,39 W (sampel G#2), 44,62 W (sampel G#3) dan 51,39 W (sampel G#4), hanya teramati puncak-puncak dengan intensitas yang sangat kecil, sehingga dapat disimpulkan bersifat amorf.



**Gambar 2. Hasil karakterisasi XRD film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:ZnO dalam kurva difraktogram dalam variasi daya plasma**

Selain mengetahui struktur kristal, dari hasil karakterisasi XRD juga diketahui nilai FWHM (*fill wide at half maximum*). Semakin kecil nilai FWHM semakin baik kualitas kristal tersebut (Suryanarayana *et al*, 1998). Gambar 3. menunjukkan nilai FWHM film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:ZnO yang ditumbuhkan di atas substrat silikon dengan variasi daya plasma.

Dari hasil karakterisasi XRD diketahui bahwa film yang telah ditumbuhkan pada daya 24,10 W mempunyai nilai FWHM puncak (201) sebesar 0,10°. Sedangkan film yang ditumbuhkan dengan daya 20,15 W mempunyai nilai FWHM puncak (201) sebesar 0,16°. Pada film yang tumbuh dengan orientasi mono kristal, derajat kualitas kristal ditentukan berdasarkan tingginya intensitas dan kecilnya nilai FWHM. Film yang mempunyai intensitas tinggi dengan FWHM sempit dikatakan mempunyai kualitas kristal yang lebih baik dibandingkan dengan film yang tumbuh dengan intensitas yang lebih rendah dan FWHM yang lebih lebar



**Gambar 3. Nilai FWHM puncak (201) film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  yang ditumbuhkan di atas substrat silikon dalam variasi daya plasma**

### Hasil Karakterisasi Film Tipis $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$ dengan SEM

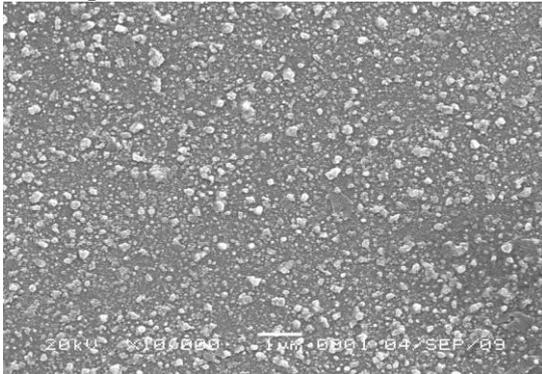
Struktur mikro lapisan tipis dapat diketahui dengan menggunakan SEM. Struktur mikro lapisan tipis bergantung pada kinematika penumbuhan yang dipengaruhi oleh temperatur substrat, sifat kimia dan gas lingkungan (Wasa *et al*, 1992). Dari karakterisasi menggunakan SEM dapat diketahui pengaruh daya plasma terhadap morfologi permukaan film. Hasil karakterisasi berupa foto penampang permukaan (*surface*). Dengan menganalisis penampang tersebut dapat diketahui adanya *grain bundaris* dan dislokasi pada film. Gambar 4. Menunjukkan citra SEM permukaan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  dengan variasi daya plasma saat deposisi.

Pada citra SEM dengan perbesaran 10.000 kali teramati bahwa film yang ditumbuhkan dengan daya plasma 20,15 W mempunyai morfologi yang lebih rata dengan butiran berbentuk butiran-butiran kecil. Kondisi tersebut dikarenakan atom-atom yang menempel pada substrat ada yang terlepas terlebih dahulu sebelum datang atom-atom yang tersputter dari target. Hal ini sebagai konsekuensi laju atom yang menuju substrat relatif rendah karena ditumbuhkan pada daya plasma yang juga relatif rendah. Film yang ditumbuhkan pada daya plasma 24,10 W memiliki morfologi yang relatif tidak rata dengan butiran-butiran yang lebih besar. Morfologi permukaan tersebut sebagai akibat meningkatnya laju aatom yang tersputter menuju substrat sehingga sebelum sebagian atom-atom yang menempel pada permukaan substrat terlepas, sudah datang atom-atom yang tersputter menuju substrat. Atom-atom yang tersputter menuju substrat tersebut

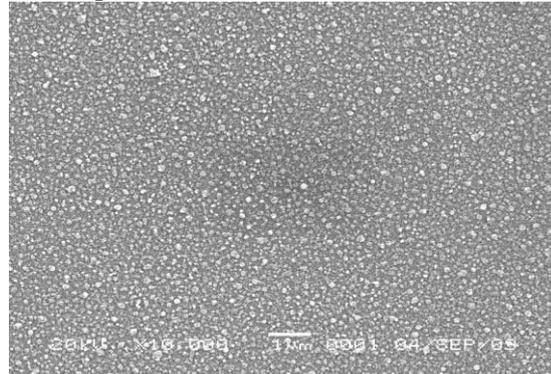
bergabung dengan atom-atom pada permukaan substrat sehingga membentuk butiran-butiran. Morfologi permukaan yang tidak rata disebabkan karena atom-atom target yang tersputter tersebut bergerak secara acak ke segala arah sehingga dalam menata diri pada permukaan substrat juga terjadi secara acak akibatnya tumpukan *granular-granular* tersebut tertata secara tidak rata.

Hasil analisis SEM menunjukkan bahwa penambahan daya plasma pada deposisi film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  dengan metode *dc magnetron sputtering* mempengaruhi pertumbuhan inti yang mengakibatkan terbentuknya butiran-butiran dengan ukuran butir (*grain size*) yang lebih besar.

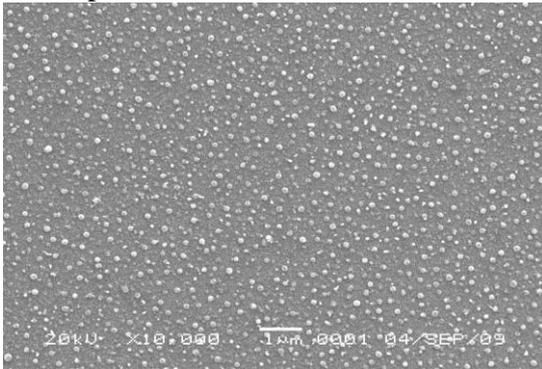
a. Sampel G#1



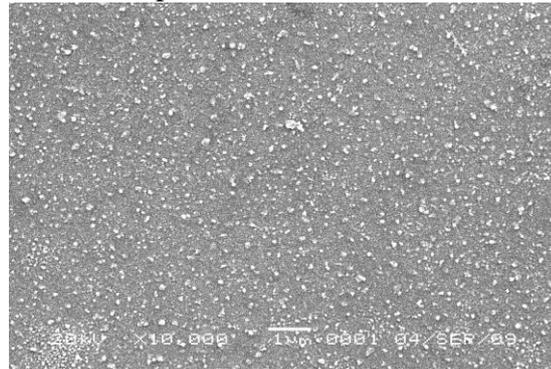
b. Sampel G#2



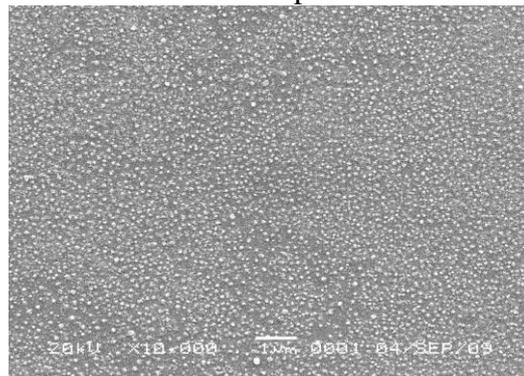
c. Sampel G#3



d. Sampel G#4



e. Sampel G#5



**Gambar 4. Citra SEM film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$  dengan variasi daya plasma dengan perbesaran 10.000 kali.**

Film yang ditumbuhkan pada daya plasma yang lebih tinggi memiliki ukuran butir (*grain size*) yang lebih besar dengan morfologi permukaan (*surface*) tidak rata. Namun jika daya yang diberikan terlalu besar, maka akan didapat film dengan ukuran butir lebih kecil dan morfologi yang relatif lebih rata. Film yang ditumbuhkan pada daya plasma 44,39 W, 44,62 W, dan 51,39 W mempunyai morfologi yang lebih rata namun ukuran butir yang lebih kecil. Menurut

Purmaningsih dkk (2003), Kristalitas lapisan tipis sebanding dengan bertambahnya ukuran butir. Ini berarti bahwa semakin besar *grain size* dari suatu morfologi film kualitas kristalnya semakin baik.

Film yang ditumbuhkan pada daya plasma 24,10 W mempunyai ukuran butir (*grain size*) yang paling besar dibandingkan dengan yang lain. Rapat nuklesi dan ukuran inti rata-rata bergantung pada sejumlah parameter seperti energi atom yang datang, laju tumbukan, difusi termal, temperatur, topografi, sifat kimia substrat dan lingkungan (Sudjatmoko, 2003). Penambahan daya plasma saat penumbuhan menyebabkan menambahnya energi kinetik dan momentum atom-atom target yang menuju substrat sehingga meningkatkan mobilitas permukaan. Mobilitas permukaan yang tinggi dapat menyebabkan terbentuknya lapisan tipis dengan ukuran butir (*grain size*) besar (Sudjatmoko, 2003).

Film yang ditumbuhkan dengan daya plasma 24,10 W mempunyai ukuran butir (*grain size*) yang paling besar, sehingga dari hasil difraktogram XRD menunjukkan film tumbuh dengan kualitas kristal yang paling baik. Berdasarkan hasil analisis SEM dan XRD dapat disimpulkan bahwa besarnya ukuran butiran (*grain size*) menentukan kualitas kristal dari film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:ZnO yang telah ditumbuhkan diatas substrat Silikon.

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan doping ZnO telah berhasil ditumbuhkan di atas substrat Si dengan menggunakan metode *dc magnetron sputtering* dengan berbagai kondisi. Film tipis yang ditumbuhkan dengan daya plasma 20,15 W teramati puncak difraksi berada pada sudut  $2\theta = 11,65^\circ$  bersesuaian dengan orientasi bidang (201) dan intensitas tertinggi pada sudut  $2\theta = 13,3^\circ$  dengan orientasi bidang (400). Ketika dayanya dinaikkan menjadi 24,10 W teramati puncak yang bersesuaian dengan orientasi (201) pada sudut  $2\theta = 11,66^\circ$ , yang menunjukkan lapisan tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:ZnO memiliki struktur monoklinik, sedangkan intensitas tertinggi pada sudut difraksi  $2\theta = 13,09^\circ$  dengan orientasi bidang (400) pada fase kubik.

Film yang ditumbuhkan dengan daya plasma 24,10 W mempunyai ukuran butir (*grain size*) yang paling besar sehingga dari hasil difraktogram XRD menunjukkan film tumbuh dengan kualitas kristal yang paling baik. Berdasarkan hasil analisis SEM dan XRD dapat disimpulkan bahwa besarnya ukuran butiran (*grain size*) menentukan kualitas kristal dari film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:ZnO yang telah ditumbuhkan diatas substrat silikon.

## DAFTAR PUSTAKA

- Kaul, A.R., Gorbenko, O. Y., Botev, A. N., Burova, L.I., 2005, MOCVD of pure and Ga-doped epitaxial ZnO, Superlattice and microstructure, 38, 272-282.
- Li, Y., Trinch, A., and Wlodarski, W., 2003, Investigation of the oxygen gas sensing performance of Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films with different dopants, *Sens. Actuators B* 93, p. 431.
- Osada, M., Sakemi, T., Yamamoto, T., 2006. The effect of oxygen partial pressure on local structures properties for Ga-doped ZnO thin films. *Thin solid films*, 494, 38 – 41.
- Purwaningsih, Sri Yani, Karyono, Sudjatmoko, 2003, Pembuatan Lapisan Tipis ZnO:Al pada substrat Kaca dengan Metode DC Suttering Dan Karakterisasi Sifat Fisisnya, Yogyakarta: UGM.
- Shan, F.K., Liu, G.X., Lee, W.J., Shin, B.C., Kim, S.C., 2006. Nanoscale phenomena of gallium-doped ZnO thin film on sapphire substrates., *J. Electroceram.* 17, 287-292.
- Sudjatmoko, 2003, Aplikasi Teknologi Sputtering untuk Pembuatan Sel Surya Lapisan Tipis, Workshop: Sputtering Untuk Rekayasa Permukaan Bahan, Yogyakarta.

- Suryanarayana, C. and Norton, M.G. 1998. *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. New York: Plenum Press: 5-14
- Wasa, K and Hayakawa, S., 1992, Handbook of Sputtering Deposition: Technology, Principles, and Application, Park Ridge, New Jersey USA Noyes Publication.
- Yamamoto T., Sakemi T., Awai K., and Shirakata S., 2004, Dependence of Carrier Concentrations on Oxygen Pressure for Ga-Doped ZnO Prepared by Ion Plating Method, *Thin Solid Films* 451-452, p. 439-442.
- Yu. Z, Overgaard, C.D., and Droopad, R., 2003, Growth and physical properties of Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films on GaAs(001) substrate by molecular-beam epitaxy, *Appl. Phys. Lett.* 82 p. 2978.