

## STRUKTUR MORFOLOGI DAN FOTOLUMINISENSI FILM TIPIS $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$

**Putut Marwoto, Ng. Made D.P., Agus Yulianto, Sugianto, dan Sunarno**

*Laboratorium Fisika Material*

*Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Semarang*

*Kampus Sekaran, Gunungpati Semarang 50229*

*Telp./Fax.: +62-24-8508034*

### Abstrak

Telah ditumbuhkan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  yang didoping Mn 5% fraksi mol ( $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ ) dengan menggunakan metode DC Magnetron sputtering. Film ditumbuhkan di atas substrat silikon pada suhu 600°C, tekanan gas argon 550 mtorr dan daya plasma masing-masing 25, 30 dan 35 watt. Karakterisasi dengan SEM menunjukkan bahwa peningkatan daya plasma telah meningkatkan ukuran butir (grain size) yang lebih tinggi. Hasil karakterisasi dengan spektrometer fotoluminisensi menunjukkan bahwa film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) memancarkan emisi pada warna hijau dengan puncak yang kuat ~ 490 nm. Dari eksperimen dapat ditunjukkan bahwa peningkatan daya plasma dapat meningkatkan intensitas fotoluminisensi.

**Kata kunci:**  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ , magnetron sputtering, struktur morfologi, fotoluminisensi

### PENDAHULUAN

Galium oksida ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) merupakan bahan semikonduktor dengan celah pita energi lebar ( $E_g = 4,8 \text{ eV}$ ) berpotensi untuk aplikasi devais optoelektronik.  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  digunakan sebagai TCO (*Transparent Conductive Oxide*) karena menunjukkan sifat transparan pada daerah panjang gelombang UV hingga 280 nm (Hosono, *et al.*, 2002) dan sebagai devais TFEL (*Thin Film Electroluminescent*) untuk display di ruang terbuka karena memiliki sifat luminesensi yang baik (Minami, *et al.*, 2003). Bahan  $\beta$ - $\text{Ga}_2\text{O}_3$  tanpa doping menunjukkan karakteristik luminesensi pada daerah spektrum warna UV, biru dan hijau dengan intensitas puncak berturut-turut 3,40 eV, 2,95 eV dan 2,48 eV (Villora, *et al.*, 2003). Material  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  secara ekstensif telah digunakan untuk aplikasi sebagai *luminescent phosphor* (Ting, *et al.*, 2002). Untuk meningkatkan intensitas luminesensi dari fosfor berbasiskan oksida telah dilakukan dengan aktivasi menggunakan unsur Mn dan Eu yang masing-masing menghasilkan emisi hijau dan merah (Minami, 2003). Mn merupakan salah satu unsur transisi yang berpotensi untuk aplikasi fosfor luminesensi, karena Mn memiliki “*excellent luminescent center*” yang level “*shallow donor dan acceptor*”nya sangat dalam, digunakan untuk devais TFEL (Gollakota, 2006). Ketika ion-ion  $\text{Mn}^{2+}$  ( $3d^5$ ) dimasukkan dalam *host* material ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ), ion-ion  $\text{Mn}^{2+}$  menjadi aktuator dalam bahan  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  (Song, *et al.*, 2005).

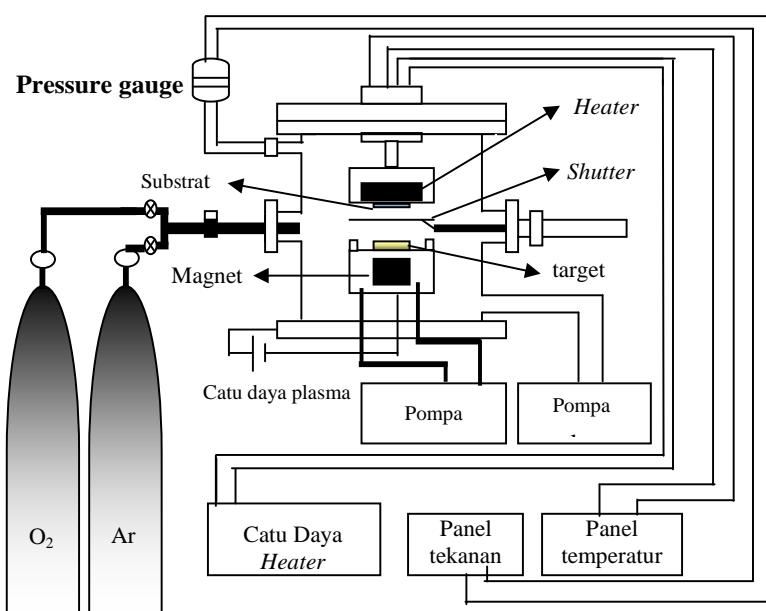
Bahan  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  telah ditumbuhkan dengan berbagai metode antara lain: MOCVD (Kim, H.W. and Kim, N.H., 2004), *floating zone* (Villora, *et al.*, 2002), dan *rf magnetron sputtering* (Ogita, M. *et al.*, 2001). Penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dengan menggunakan metode *dc magnetron sputtering* juga telah dilakukan dengan mengkaji pengaruh temperatur substrat, daya plasma dan *annealing* pasca penumbuhan (Sjahid, 2005) dan variasi laju alir oksigen (Marwoto, *et al.* 2007a). Pengkajian sifat optik bahan  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  yang didoping europium (Eu) juga telah dilakukan (Marwoto, *et al.* 2007). Penumbuhan dengan metode *dc magnetron sputtering* memberikan kemudahan dalam pengoperasiannya, tingkat deposisi tinggi, prosesnya stabil, dan biaya relatif murah. Dalam paper ini akan dilaporkan pengaruh daya plasma pada struktur morfologi dan sifat fotoluminisensi film tipis galium oksida yang didoping mangan ( $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ ) yang ditumbuhkan dengan *dc magnetron sputtering*.

### EKSPERIMEN

Proses penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dengan *dc magnetron sputtering* dilakukan dengan tiga langkah. Pertama, pembuatan target  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5% mol) dalam bentuk *pellet* setelah melalui proses penggerusan, pemadatan, dan sintering pada suhu 900°C selama tiga jam. Kedua, preparasi substrat Si (100) yang meliputi pemotongan dan pencucian substrat dengan aseton dan metanol dalam *ultrasonic bath* masing-masing selama 10 dan 5 menit. Kemudian substrat dicuci

dengan *DI water* dan dicelupkan ke dalam larutan HF 10% dan dicuci lagi dengan *DI water*. Substrat selanjutnya dikeringkan dengan semprotan gas nitrogen. Ketiga, penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dengan reaktor dc magnetron sputtering (Gambar 1). Substrat dipasang pada anoda, sedangkan target dipasang pada katoda.

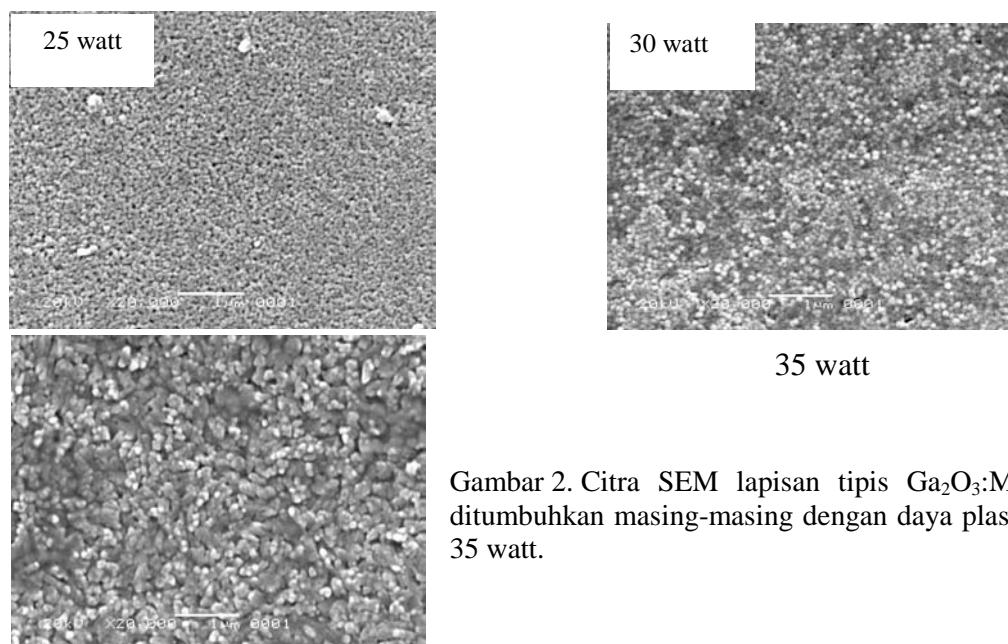
Dalam eksperimen, film  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  ditumbuhkan pada temperatur  $600^\circ\text{C}$ , tekanan 550 mtorr dan waktu penumbuhan dilakukan selama tiga jam. Parameter yang divariasikan adalah daya plasma (25, 30 dan 35 watt) dan doping Mn dengan fraksi mol 5%. Struktur morfologi dianalisis dengan SEM, sedangkan sifat fotoluminisesni dianalisis menggunakan spektrometer *photoluminescence* (PL) Perkin Elmer LS 55.



Gambar 1. Sistem reaktor *dc magnetron sputtering*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam eksperimen telah ditumbuhkan film  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) pada tekanan argon 550 mtorr, suhu substrat  $600^\circ\text{C}$  dan daya plasma masing-masing 25, 30 dan 35 watt . Gambar 4.1 menunjukkan hasil karakterisasi lapisan tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) dengan uji SEM.



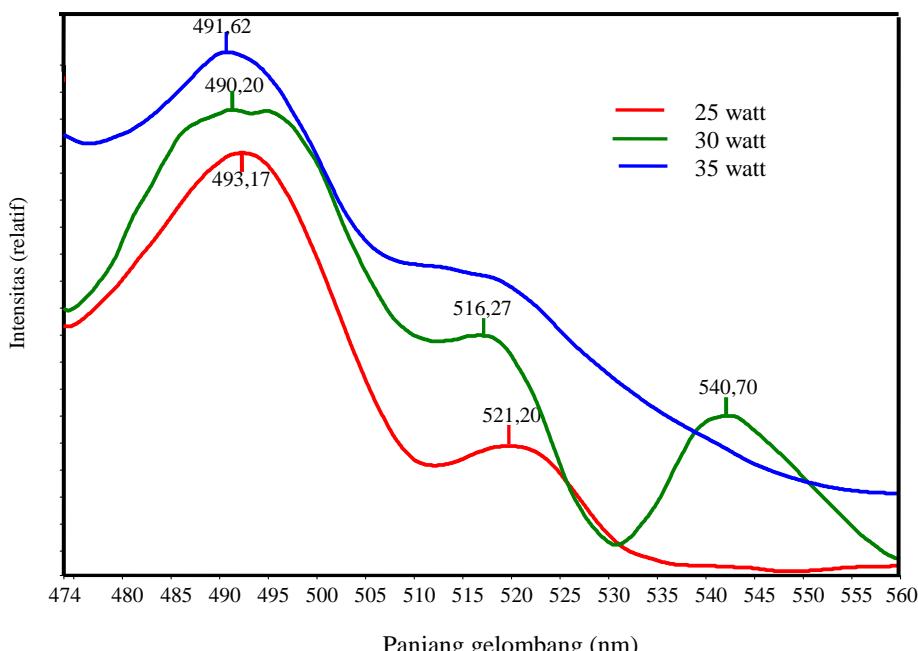
Gambar 2. Citra SEM lapisan tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) yang ditumbuhkan masing-masing dengan daya plasma 25, 30 dan 35 watt.

Citra SEM yang teramati menunjukkan bahwa film tipis yang ditumbuhkan dengan daya plasma yang berbeda mempunyai struktur permukaan yang berbeda pula. Penambahan daya plasma dalam film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) mempengaruhi struktur mikro permukaan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ .

Citra SEM permukaan dari Gambar 2 menunjukkan bahwa distribusi butir (*grain*) film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) pada permukaan Si (100) relatif homogen dan rapat sehingga menghasilkan permukaan film yang relatif rata. Film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) mempunyai permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan struktur permukaan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  yang telah dilaporkan oleh Sahid (2005). Dengan demikian kehadiran atom-atom Mn pada  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) dapat memperhalus permukaan film. Struktur tersebut sesuai dengan laporan Maruly (2007), bahwa kehadiran doping telah meningkatkan homogenitas film. Pertumbuhan kristal yang beragam (polikristal) ditandai dengan terbentuknya butir (*grain*) yang berukuran sama (homogen). Peningkatan daya plasma menyebabkan butir film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) tampak lebih kasar dengan ukuran butir (*grain*) lebih besar.

Citra SEM tersebut menunjukkan bahwa film tipis yang ditumbuhkan dengan daya plasma yang tinggi memiliki ukuran butir (*grain size*) yang lebih besar dengan morfologi permukaan (*surface*) yang homogen. Struktur mikro dan topografi film tipis bergantung pada kinetika pertumbuhan, suhu substrat, sifat kimia, energi kinetik atom, topografi substrat dan lingkungan gas. Lapisan tipis dengan butiran-butiran besar terbentuk pada daya plasma yang tinggi diakibatkan oleh mobilitas permukaan yang tinggi. Bertambahnya energi kinetik atom meningkatkan mobilitas permukaan, tetapi energi kinetik yang cukup tinggi menyebabkan mobilitas permukaan berkurang sebagai akibat penetrasi atom-atom yang datang ke dalam substrat dan mengakibatkan ukuran butir menjadi lebih kecil. Pada kondisi deposisi dan kombinasi material-substrat tertentu ukuran butir lapisan tipis bertambah besar ketika ketebalan lapisan tersebut meningkat (Sudjatmoko, 2003). Kristalitas lapisan tipis sebanding dengan bertambahnya ukuran butir sehingga semakin besar *grain size* dari suatu morfologi film, kualitas kristalnya semakin baik (Purwaningsih, 2003). Dengan demikian, film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) yang ditumbuhkan dengan daya plasma lebih tinggi mempunyai ketebalan yang lebih tinggi.

Gambar 3 menunjukkan hasil karakterisasi fotoluminesensi film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  doping Mn 5% di daerah panjang gelombang 474 nm-560 nm dengan variasi daya plasma. Karakterisasi sifat optik film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  telah dilakukan menggunakan photoluminescence (PL) dengan eksitasi pada panjang gelombang 220 nm.



Film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  doping Mn 5% yang ditumbuhkan dengan daya plasma 25 watt mempunyai dua puncak fotoluminesensi yaitu pada panjang gelombang 493,17 nm (2,52 eV) dan 521,20 nm (2,38 eV), sedangkan film tipis yang ditumbuhkan dengan daya plasma 30 watt mempunyai tiga puncak fotoluminesensi pada panjang gelombang 490,20 nm (2,53 eV), 516,27 nm (2,4 eV) dan 540,70 nm (2,29 eV). Puncak fotoluminesensi yang dideposisikan pada daya plasma 35 watt yaitu 491,62 nm (2,52 eV). Emisi yang dihasilkan berada pada daerah warna hijau. Semakin tinggi daya plasma, semakin tinggi intensitas luminesensinya sebab kemungkinan atom-atom Mn yang terdepositasi di permukaan substrat semakin banyak. Hasil ini sesuai dengan citra SEM film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  (5%) yang ditumbuhkan.

## KESIMPULAN

Dalam eksperimen telah ditumbuhkan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) pada tekanan plasma argon 550 mtorr, suhu substrat 600°C dan daya plasma masing-masing 25,30 dan 35 watt. Karakterisasi dengan SEM menunjukkan bahwa peningkatan daya plasma telah meningkatkan ukuran butir (grain size) yang lebih tinggi. Hasil karakterisasi dengan spektrometer fotoluminisensi menunjukkan bahwa film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  (5%) memancarkan emisi pada warna hijau dengan puncak yang kuat ~ 490 nm. Dari eksperimen dapat ditunjukkan bahwa peningkatan daya plasma dapat meningkatkan intensitas fotoluminisensi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hosono, H., Ohta, H., Orita, M., Ueda, K, and Hirani, M., (2002), Frontier of transparent conductive oxide thin films, *Vacuum* 66, p. 419.
- Gollakota, P., Lunardi, L.M., Muth, J.F., Oztruk, M.C.,(2006) *Investigation of Europium doped wide band gap oxides and an annealing study of the amorphous oxide semiconductor indium gallium zinc oxide*. North Carolina State University, p. 15, 23-24.
- Marwoto, P., Sugianto, Wiyanto. (2007a)Growth of Gallium Oxide Thin Film on Silicon Deposited by DC Magnetron Sputtering. *The Proceeding of RAFFS*, Universiti Teknologi Malaysia (2007a)
- Marwoto, P., Sugianto, Wiyanto.(2007b)Doping Eu pada Film Tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  yang Ditumbuhkan dengan DC Magnetron Sputtering. *Seminar Nasional Teknik Kimia*, Universitas Parahyangan, Bandung
- Marwoto, P., Sulhadi dan Sugianto,(2008) Fotoluminisensi Film Tipis Galium Oksida Dengan Doping Mn. *Proseding Seminar nasional Aplikasi Fotonika 2008*.
- Minami, T., Miyata, T., Sakagumi, Y.,(1998) TFEL devices using oxide thin films without vacuum process, *J. Surface and Coating Technology* 108-109, p. 594-598.
- Minami, T., 2003, Oxide thin-film electroluminescent devices and materials, *Solid State Electron.* 47, p.2237.
- Purwaningsih, S.Y. 2003. Pembuatan Lapisan Tipis ZnO:Al pada Substrat Kaca dengan metode DC Magnetron Sputtering dan Karakterisasi Sifat Fisisnya. *Thesis*. Univeritas Gajahmada, Yogyakarta: hal. 8-10.
- Sjahid, N.(2005) Studi Penumbuhan Lapisan Tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dengan Metode DC Magnetron Sputtering dan Karakterisasi Sifat Fisisnya (*Skripsi*). Semarang: FISIKA FMIPA UNNES, hal. 1-74.

Song, Y.P., Wang, P.W., Xu, X.Y., Wang, Y., Li, G.H., Yu, D.P., (2005) "Magnetism and photoluminescence in manganese-gallium oxide nanowires with monoclinic and spinel structures", *J. Physics E 31*, p. 67-71.

Sudjatmoko (2003). *Teknologi sputtering (Diktat Kuliah Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan)*. Jogjakarta: Penerbit BATAN. hal.1-16

Ting, W.Y., Kitai, A.H. and Mascher, P.,(2002) Crystallization phenomena in b-Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> investigated by positron annihilation spectroscopy and X-ray diffraction analysis, *Materials Sci. Eng. B91-92*, p. 541.

Villora, E.G., Morioka, Y., Atou, T., Sugawara, T., Kikuchi, M., and Fukuda, T.,(2002) Infrared reflectance and Electrical Conductivity of Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, *Phy. Stat.Sol (a)* 193,187.

Villora, E.G., Hatanak, K., Odaka, H., Sugawara, T., Miura, T., Fukumura H., Fukuda, T.,(2003) Luminescence of undoped  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> single crystals excited by picosecond X-ray and sub-picosecond UV pulses, *Solid State Comunn.*127, .385.