



**PENGARUH TEKANAN GAS ARGON PADA PENUMBUHAN  
FILM TIPIS  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  DOPING Mn DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE *DC MAGNETRON SPUTTERING***

**SKRIPSI**

**Disusun dalam rangka penyelesaian Studi Strata 1  
untuk memperoleh gelar Sarjana Fisika S1  
pada Universitas Negeri Semarang**

**Oleh**

**UMI WIDURI**

**NIM 4250403008**

**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG**

**2007**

## **PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang ujian skripsi Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, universitas Negeri Semarang.

Semarang, September 2007

Pembimbing I

Pembimbing II

Dr. Putut Marwoto, M.S.  
NIP. 131764029

Dr. Sugianto, M.Si.  
NIP. 132046850

Mengetahui  
Ketua Jurusan Fisika FMIPA  
Universitas Negeri Semarang

Drs. M. Sukisno, M.Si  
NIP. 130529522

## PENGESAHAN KELULUSAN

Skripsi ini telah dipertahankan di dalam sidang ujian skripsi Jurusan Fisika,  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan alam, Universitas Negeri Semarang  
pada :

Hari :

Tanggal :

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Kasmadi I.S., M.S.  
NIP 1307811011

Drs. M. Sukisno, M.Si.  
NIP 130529522

Pembimbing I

Penguji I

Dr. Putut Marwoto, M.S.  
NIP 131764029

Dr. Wiyanto, M.Si.  
NIP 131764032

Pembimbing II

Penguji II

Dr. Sugianto, M.Si.  
NIP 132046850

Dr. Putut Marwoto, M.S.  
NIP 131764029

Penguji III

Dr. Sugianto, M.Si.  
NIP 132046850

## **PERNYATAAN**

Saya menyatakan bahwa yang saya tulis dalam skripsi ini benar-benar merupakan hasil karya saya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, 1 Oktober 2007  
Penulis,

Umi Widuri  
NIM 4250403008

## MOTTO DAN PERSEMBAHAN

*“Tidak ada kefakiran yang lebih hebat daripada kebodohan dan tidak ada harta yang lebih berharga daripada akal” (Hadist Nabi)*

*“Hidup yang berarti itu adalah serentetan kesulitan dan persoalan yang harus dicari pemecahannya”*

*“Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat” (Q.S Al-Mujadalah: 11)*

*“Hidup kita di dunia hanya sekali maka hiduplah yang berarti berbakti pada orang tua dan ilahi Robbi”*

*Skripsi ini kupersembahkan sebagai wujud syukur kepada Allah SWT, teruntuk Bapak dan Ibu tercinta sebagai rasa hormat dan baktiku, guru/dosen atas ilmu yang diberikan, mbak Yuli, Naim serta teman-temanku terima kasih atas dorongan, semangat dan motivasinya yang telah diberikan selama ini dan untuk generasi penerusku semoga karya ini bermanfaat*

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbi'l'alam, segala puji bagi Allah, Dzat yang menguasai alam semesta. Atas Berkah dan Rahmat Allah Yang Maha Kuasa, yang telah memberikan petunjuk dan ilmu pengetahuan pada makhluk-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Tekanan Gas Argon pada Penumbuhan Film Tipis  $Ga_2O_3:Mn$  dengan Menggunakan Metode *dc Magnetron Sputtering*”. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Nabi Muhammad SAW sebagai penunjuk jalan yang *haq*. Demikian pula para keluarga, sahabat dan pengikutnya.

Bukan tanda syukur penulis dan suatu hal yang tidak patut, apabila dalam kesempatan ini, penulis tidak menyampaikan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan kontribusi dan peluang dalam usaha menyelesaikan skripsi ini. Untuk itu penulis dengan penuh rasa kebahagiaan dan ketulusan hati menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Putut Marwoto, M.S, sebagai dosen pembimbing I yang dengan penuh kesabaran memberikan bimbingan dalam penulisan skripsi ini,
2. Dr. Sugianto, M.Si, sebagai dosen pembimbing II yang dengan senang hati memberikan bimbingan dalam penulisan skripsi ini,
3. Dr. Wiyanto, M.Si, selaku penguji skripsi yang telah banyak memberikan koreksi terhadap tulisan ini,
4. Drs. Kasmadi Imam S, M.S, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang,
5. Drs. M. Sukisno, M.Si, Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang,
6. Bapak Wahyu Hardyanto, selaku dosen wali penulis terima kasih atas masukan dan bantuannya,
7. Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional melalui Proyek Peningkatan Penelitian Pendidikan Tinggi (melalui Penelitian Dasar tahun Anggaran 2006) yang telah membiayai penelitian ini.

8. Drs. Hadi Susanto, M.Si, Kepala Laboratorium Fisika FMIPA Universitas Negeri Semarang
9. Wasi Sakti, S.Pd dan Didik Arianto, S.Si yang telah memberikan banyak bantuan dan pelayanannya kepada penulis
10. Bapak, Ibu, mbak Yuli dan Naim yang memberikan dorongan dan dukungannya kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Material *crew's* (Ismi, Ra3, Nuraini, Ina, Amin, Rni, Isnaeni) yang telah memberikan bantuan baik moral maupun material kepada penulis. Teman-teman seperjuangan (Ayu, Desi, Arisan, Elyco, Wa2n, Dyah, Indri, Rizka, Purwanti, Ernes, Mugi, Lilik, Diani, Om Joko dan semua angkatan 2003), dan anak-anak pendidikan angkatan 2003 (Rini, Masroah, dll) yang telah membantu dalam penyelesaian skripsi ini.
12. Teman-temanku di Kost Barokah.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari sempurna. Penulis barharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Semarang, Oktober 2007

Penulis

## ABSTRAK

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 elektronik dan optoelektronik. Material  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  secara ekstensif telah digunakan untuk aplikasi sebagai *luminescent phosphor*.  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  didoping dengan Mn menampilkan luminesensi hijau. Mn merupakan salah satu unsur transisi yang berpotensi untuk aplikasi fosfor luminesensi, karena Mn memiliki “*excellent luminescent center*”. Gas argon murni (kemurnian 99,99%) digunakan sebagai salah satu parameter penumbuhan yang berfungsi sebagai gas sputtering yang mengalami proses ionisasi dan membentuk plasma. Tujuan penelitian menumbuhkan dan mempelajari struktur dan sifat optik film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dengan variasi tekanan gas argon. Film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  telah ditumbuhkan di atas substrat Si (100) dengan metode *dc magnetron sputtering*. Film ditumbuhkan dengan tekanan gas argon dan jumlah fraksi mol Mn yang divariasikan. Karakteristik XRD menunjukkan penambahan tekanan gas argon pada penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  tidak menampakkan perubahan struktur kristal film yang signifikan. Struktur kristal kedua sampel ( $P_{\text{Ar}} = 550 \text{ mTorr}$  dan  $600 \text{ mTorr}$ ) menunjukkan fase monoklinik dengan orientasi bidang ( $\bar{1}11$ ). Sampel pada tekanan  $550 \text{ mTorr}$  memiliki FWHM lebih kecil, intensitas lebih tinggi dan kualitas kristal lebih baik. Karakterisasi sifat optik film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  menggunakan *photoluminescence* (PL) dengan eksitasi panjang gelombang  $220 \text{ nm}$ . Penambahan fraksi mol Mn dalam film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dapat meningkatkan intensitas fotoluminesensi film dan beorientasi pada daerah panjang gelombang hijau dengan rentang antara  $490\text{-}496 \text{ nm}$ . Pergeseran puncak fotoluminesensi ke panjang gelombang lebih pendek ( $E_g$  lebih besar) dipengaruhi oleh medan kristal dan lebar *bandgap*. Ion  $\text{Mn}^{2+}$  memiliki medan kristal lemah yang mengemisikan warna hijau. Kehadiran atom Mn pada ikatan Ga-O menjadi renggang dan *bandgap* menjadi tegang, sehingga celah pita energi dari spektrum fotoluminesensi semakin besar. Mn *deep impurities* membuat pita impuritas (*Mn acceptor*) terdistribusi menuju dan mendekati pita valensi atau pita konduksi, sehingga energi gap menjadi semakin lebar. Penambahan tekanan gas argon pada penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dengan fraksi mol Mn yang sama meningkatkan ketebalan dan orientasi kristal lebih homogen sehingga intensitas luminesensi film bertambah tinggi. Penambahan tekanan gas argon mempengaruhi tingkat intensitas luminesensi film, tapi tidak mempengaruhi daerah puncak panjang gelombang emisinya, yaitu emisi hijau. Puncak panjang gelombang untuk fraksi mol 5% adalah  $\pm 491 \text{ nm}$  ( $2,53 \text{ eV}$ ) dan fraksi mol 2% adalah  $\pm 494 \text{ nm}$  ( $2,52 \text{ eV}$ ).

**Kata kunci:**  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ , tekanan gas argon, sifat optik *photoluminescence*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>PERSETUJUAN PEMBIMBING</b> .....	ii
<b>PENGESAHAN KELULUSAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>MOTTO DAN PERSEMBAHAN</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xiii

### **BAB I PENDAHULUAN**

1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Permasalahan .....	6
1.3 Tujuan .....	6
1.4 Manfaat .....	7
1.5 Sistematika .....	7

### **BAB II KAJIAN PUSTAKA**

2.1 Galium Oksida ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) .....	9
2.2 Galium Oksida doping Mn ( $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ ) .....	11
2.3 Sifat Optik .....	16
2.3.1 Cacat Kristal .....	17
2.3.2 Fotoluminesensi .....	18
2.4 <i>Magnetron Sputtering</i> .....	22
2.4.1 Plasma .....	22
2.4.2 <i>Sputtering</i> .....	24
2.4.3 <i>dc magnetron sputtering</i> .....	25

### **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian .....	28
3.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	29
3.3	Prosedur Penelitian .....	30
3.3.1	Pembuatan Target Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Mn .....	30
3.3.2	Preparasi Substrat .....	31
3.3.3	Penumbuhan Lapisan Tipis Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Mn .....	31
3.4	Karakterisasi Film Tipis Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Doping Mn .....	33
3.4.1	Difraksi Sinar-X (XRD) .....	33
3.4.2	<i>Photoluminescence</i> (PL) .....	35

### **BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

4.1	Karakterisasi Film Tipis Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Mn dengan XRD .....	39
4.2	Karakterisasi Film Tipis Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Mn dengan PL .....	45

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	54
5.2	Saran .....	55

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	56
-----------------------------	----

<b>LAMPIRAN</b> .....	60
-----------------------	----

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Penggunaan panjang gelombang X-ray K dalam XRD (nm) .....	34
Tabel 4.1 Parameter penumbuhan film tipis Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :Mn pada substrat Si (100) .....	39

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur kisi $\text{Ga}_2\text{O}_3$ .....	9
Gambar 2.2	Diagram Tanabe-Sugano untuk tingkat energi konfigurasi $d^5$ ..	12
Gambar 2.3	Diagram pita energi elektron untuk semikonduktor dengan impuritas .....	18
Gambar 2.4	Perubahan energi selama luminesensi .....	20
Gambar 2.5	Skema fotoluminesensi dan absorpsi optik pada temperatur rendah.....	21
Gambar 2.6	Absorpsi optik .....	22
Gambar 2.7	Skema eksitasi luminesensi .....	22
Gambar 2.8	Proses sputtering pada permukaan target secara fisis .....	25
Gambar 3.1	Sistem reaktor <i>dc magnetron sputtering</i> .....	30
Gambar 3.2	Difraksi sinar-X oleh kristal .....	34
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian .....	38
Gambar 4.1a	Spektrum XRD film tipis $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ 2% ( $P_{\text{Ar}} = 550$ mTorr) ....	40
Gambar 4.1b	Spektrum XRD film tipis $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ 2% ( $P_{\text{Ar}} = 600$ mTorr) ....	40
Gambar 4.2a	FWHM film tipis $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ 2% ( $P_{\text{Ar}} = 550$ mTorr) .....	43
Gambar 4.2b	FWHM film tipis $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ 2% ( $P_{\text{Ar}} = 600$ mTorr) .....	43
Gambar 4.3a	Spektrum fotoluminesensi $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ dengan fraksi mol Mn berbeda ( $P_{\text{Ar}} = 550$ mtorr) .....	46
Gambar 4.3b	Spektrum fotoluminesensi $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ dengan fraksi mol Mn berbeda ( $P_{\text{Ar}} = 600$ mTorr) .....	46
Gambar 4.3c	Spektrum fotoluminesensi $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ dengan fraksi mol Mn berbeda ( $P_{\text{Ar}} = 650$ mtorr) .....	46
Gambar 4.4a	Spektrum fotoluminesensi $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ 2% pada tekanan gas argon berbeda .....	50
Gambar 4.4b	Spektrum Fotoluminesensi $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ 5% pada tekanan gas argon berbeda .....	50

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data standar JCPDS $\text{Ga}_2\text{O}_3$ .....	60
Lampiran 2. Data standar JCPDS Silikon .....	61
Lampiran 3. perhitungan konsentrasi doping pada target $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ 2% .....	62
Lampiran 4. Perhitungan konsentrasi doping pada target $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ 5% .....	63
Lampiran 5. Perhitungan sudut difraksi $2\theta$ dengan $K\alpha_1$ dan $K\alpha_2$ .....	64

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

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 elektronik dan optoelektronik. Bahan dengan celah pita energi lebar ini lebih sulit untuk terjadinya eksitasi elektron secara termal dari pita valensi ke pita konduksi. Hal ini menyebabkan berkurangnya kebocoran arus dan bertambahnya stabilitas termal dalam suatu piranti karena tipe intrinsik konduksi lebih mendominasi pada temperatur tinggi (Zolnai, 2005). Bahan  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  memiliki konstanta dielektrik statis  $\epsilon_s = 10$  berpotensi sebagai kandidat bahan dielektrik tinggi yang digunakan untuk meningkatkan unjuk kerja devais elektronik seperti sebagai bahan *gate* pada transistor efek medan (MOSFET).  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  seringkali dimanfaatkan sebagai sensor gas karena stabil pada temperatur tinggi (titik lebur  $1740^\circ\text{C}$ ) dan konduktivitasnya bergantung pada lingkungan atmosfer serta menunjukkan sensitivitas yang tinggi (Hoefler, U. *et al*, 2001). Selain itu untuk aplikasi devais optoelektronik  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dapat digunakan sebagai TCO (*Transparent Conductive Oxide*) karena menunjukkan sifat transparan pada daerah panjang gelombang UV hingga 280 nm (Hosono, H. *et al*, 2002) dan sebagai devais TFEL (*Thin Film Electrolumonescent*) untuk display di ruang terbuka karena memiliki sifat luminesensi yang baik (Minami, *et al*, 2003).

Material  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  secara ekstensif telah digunakan untuk aplikasi sebagai *luminescent phosphor*, khususnya ketika didoping dengan atom-atom unsur tanah jarang (*rare earth*).  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  merupakan oksida berstruktur kristal dengan derajat anisotropis tinggi yang mempunyai interkoneksi rantai tetrahedral dan oktahedral dengan membentuk “*tunnel*” yang lebar dalam kristal. *Tunnel* ini dipercayai memegang peranan penting dalam transport “*hot electron*” yang diperlukan untuk emisi *electroluminescent* (Ting, W.Y. *et al*, 2002).  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  didoping dengan Eu akan menunjukkan luminesensi merah dan jika didoping Mn menampilkan luminesensi hijau. Mn merupakan salah satu unsur transisi yang berpotensi untuk aplikasi fosfor luminesensi, karena Mn memiliki “*excellent luminescent center*” untuk devais TFEL dimana level “*shallow donor dan acceptor*”nya sangat dalam (Gollakota, P., 2006).

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, E.G. *et al*, 2002), *rf magnetron sputtering* (Ogita, M. *et al*, 2001). Pada umumnya film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  yang ditumbuhkan dengan berbagai teknik penumbuhan memiliki struktur kristal monoklinik (Marwoto, P., *et al*, 2006). Sifat-sifat film tipis yang dihasilkan ini berhubungan erat dengan struktur film yang terbentuk, dan struktur film tipis sangat bergantung pada parameter penumbuhan film seperti temperatur substrat, laju alir gas, perlakuan annealing pasca penumbuhan dan tekanan parsial oksigen.

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, annealing pasca penumbuhan (Sjahid, N., 2005) dan variasi laju alir

oksigen (Alfafa, M., 2007). Pengkajian sifat optik bahan  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  yang didoping europium (Eu) juga telah dilakukan (Marwoto, P dkk, 2007 dan Maruly, I.D., 2007). Hasil penelitian Sjahid (2005) menunjukkan lapisan tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  memiliki kristalinitas dan sifat optik yang lebih baik jika ditumbuhkan dengan temperatur substrat dan daya plasma yang optimal serta dengan perlakuan annealing selama proses penumbuhan. Pada penumbuhan  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dengan temperatur substrat  $600^\circ\text{C}$  menunjukkan kristalinitas film yang lebih baik. Pemberian daya plasma yang semakin besar meningkatkan intensitas, dan menunjukkan orientasi kristal yang dominan pada bidang (0 1 7) serta menampakkan butiran yang lebih besar dan terdistribusi merata pada seluruh permukaan substrat dan film menjadi lebih tebal. Annealing dapat mengurangi derajat amorf dan meningkatkan kristalinitas lapisan tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ .

Hasil penelitian Alfafa (2007) menunjukkan bahwa penambahan laju alir oksigen selama penumbuhan dapat meningkatkan kristalinitas dan sifat optik film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ . Kualitas kristal dan sifat optik yang baik dicapai saat laju alir oksigen 150 mTorr dan celah pita optik diperoleh sebesar 3,4 eV. Hasil karakterisasi sifat listrik menunjukkan resistivitas film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  meningkat dengan bertambahnya laju alir oksigen. Meningkatnya resistivitas atau turunnya konduktivitas film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dipengaruhi oleh berkurangnya kekosongan oksigen dalam kisi kristal film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  yang tumbuh.

Film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dengan doping Eu (2% dan 5%) telah ditumbuhkan dengan metode *dc magnetron sputtering* (Marwoto, P., dkk, 2007 dan Maruly, I.D., 2007). Film  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ditumbuhkan dengan aliran gas oksigen pada temperatur



600°C. Dari hasil analisis SEM dapat ditunjukkan film yang didoping Eu 2% lebih homogen dibandingkan dengan film yang didoping Eu 5%. Kehadiran atom Eu pada film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat memperhalus permukaan film, namun penambahan konsentrasi Eu tidak mengubah morfologi permukaan secara signifikan. Doping Eu 2% pada film Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> menunjukkan adanya peningkatan reflektansi film, sedangkan doping Eu 5% menurunkan reflektansi film. Penumbuhan film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu baik di atas silikon, gelas korning maupun ITO memperoleh spektrum absorpsi yang sama. Koefisien absorpsi film Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan doping Eu yang ditumbuhkan meningkat sebanding dengan kenaikan daya plasma yang digunakan selama penumbuhan.

Karakterisasi *photoluminescence* (PL) menunjukkan film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu 5% mempunyai luminesensi lebih tinggi daripada Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu 2%. Intensitas luminesensi Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu 5% terjadi pada panjang gelombang 603 nm yang memancarkan warna merah sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya, sedangkan intensitas film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu 2% berada di bawah intensitas Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu 5% dimana puncak luminesensinya bergeser ke panjang gelombang yang lebih pendek yaitu 593 nm (2,1 eV). Struktur film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu menjadi rendah pada saat keadaan doping tinggi, karena akseptor Eu telah mengkompensasi kekosongan oksigen. Konsentrasi doping Eu pada film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Eu 2% optimum berada pada fraksi mol 2% (Maruly, I.D., 2007).

Film tipis ZnO:Al telah ditumbuhkan menggunakan *dc magnetron sputtering* dengan variasi tekanan gas argon (0,13 - 2,76 Pa) dan temperatur substrat (373 – 773 K) (Kwak, Dong-Joo, *et al*, 2004). Hasil XRD menunjukkan

puncak difraksi menjadi lebih tinggi dan lebih tajam dengan berkurangnya tekanan gas argon. Kristalinitas film meningkat dan ukuran butiran kristal menjadi lebih besar pada tekanan argon lebih rendah. Hal ini ditujukan untuk meningkatkan transfer momentum dari atom-atom tersputter menuju substrat selama penumbuhan. Pada temperatur substrat sampai dengan 673 K puncak difraksi XRD juga meningkat lebih tinggi dan menurun pada temperatur yang lebih tinggi. Bertambahnya temperatur substrat juga menyebabkan kristalinitas film meningkat dan ukuran kristal menjadi lebih besar.

Resistivitas listrik terendah dari film ZnO:Al diperoleh dengan nilai  $6,5 \times 10^{-4} \Omega\text{-cm}$  pada tekanan argon 0,13 Pa dan pada temperatur substrat 673 K. Hal ini berhubungan dengan mekanisme konduksi yang mengindikasikan bahwa resistivitas ditentukan utama oleh mobilitas Hall dan konsentrasi pembawa muatan yang dipengaruhi oleh perubahan ukuran butiran kristal dan *grain boundary scattering* pembawa muatan. Transmittansi film meningkat dari 85 % sampai 91,46 % dan tepi optik bergeser menuju panjang gelombang yang lebih pendek dengan berkurangnya tekanan gas argon (Kwak, Dong-Joo, *et al*, 2004).

*Sputtering* merupakan proses penembakan partikel-partikel (atom-atom atau ion-ion) berenergi tinggi pada sebuah target sehingga atom-atom individu target memperoleh energi yang cukup tinggi untuk melepaskan diri dari permukaan target. Atom-atom yang tersputter terhambur ke segala arah, kemudian difokuskan pada substrat untuk membentuk lapisan tipis (Sudjatmoko, 2003). Gas argon murni (kemurnian 99,99%) umumnya digunakan sebagai gas sputtering yang mengalami proses ionisasi dan membentuk plasma (terdiri atas elektron, ion

bermuatan positif dan molekul netral) pada tekanan parsial di dalam tabung plasma dalam orde  $10^{-3}$  Torr. Semakin banyak elektron dan ion-ion bermuatan positif yang menumbuk target maka semakin banyak atom-atom target yang tersputter menuju substrat untuk membentuk film tipis. Alasan digunakannya gas argon sebagai gas pensputter adalah berat atomnya relatif tinggi ( $M_r = 40$ ), harganya murah, merupakan golongan gas mulia terbanyak di udara, termasuk gas mulia yang bersifat inert (sulit berikatan dengan unsur lain) dan mudah mengalami ionisasi.

Penumbuhan dengan metode *dc magnetron sputtering* memberikan kemudahan dalam pengoperasiannya, tingkat deposisi tinggi, prosesnya stabil, dan biaya relatif murah. Pada penelitian ini difokuskan pada penumbuhan lapisan tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  doping Mn dengan variasi tekanan gas argon (Ar) sebagai gas pensputter yang menggunakan *dc magnetron sputtering*.

## **1.2 Permasalahan**

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang dikaji adalah bagaimana pengaruh tekanan gas Ar pada penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  doping Mn terhadap struktur dan sifat optik film yang terbentuk dengan metode *dc magnetron sputtering*.

## **1.3 Tujuan**

Tujuan penelitian ini adalah menumbuhkan lapisan tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  yang didoping Mn di atas substrat Si (100) dengan variasi tekanan gas Ar dengan

metode *dc magnetron sputtering* dan mempelajari struktur dan sifat optik lapisan tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doping Mn yang dihasilkan.

#### **1.4 Manfaat**

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi mengenai proses penumbuhan film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doping Mn dengan parameter deposisi yang berbeda dan sifat optik film yang dihasilkan sehingga dapat memberikan kontribusi bagi perkembangan devais elektronik maupun optoelektronik.

#### **1.5 Sistematika**

Sistematika penulisan dalam skripsi ini terdiri atas tiga bagian. Bagian pertama diawali dengan halaman judul, abstrak, halaman pengesahan, halaman motto, halaman persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar gambar dan daftar tabel. Bagian kedua merupakan isi yang terdiri atas lima bab. Bab I berisi latar belakang masalah penelitian, permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika skripsi. Bab II membahas kajian pustaka yang merupakan landasan teoritis dalam penelitian. Kajian pustaka berisi penjelasan mengenai material Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doping Mn, sifat optik (fotoluminesensi), *sputtering* dan sistem *dc magnetron sputtering*. Bab III membahas metode penelitian yang dilakukan meliputi: pembuatan target Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doping Mn, preparasi substrat, penumbuhan lapisan tipis, karakterisasi film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doping Mn dan model analisis data. Bab IV fokus pada analisis dan pembahasan data hasil penelitian. Analisis dan pembahasan hasil penelitian meliputi analisis dan pembahasan

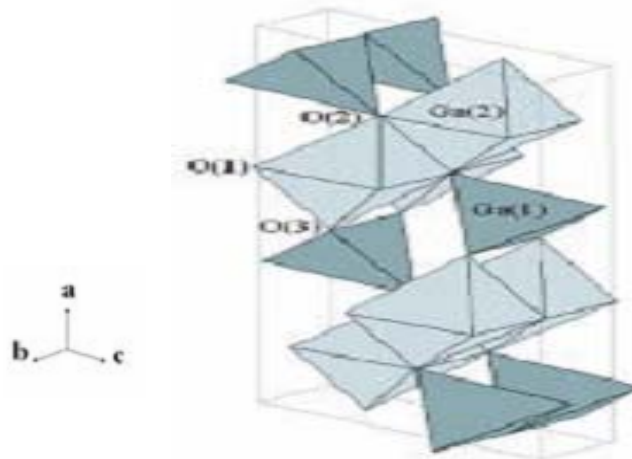
struktur kristal dan sifat optik film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  terhadap perbedaan tekanan gas argon. Bab V berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran untuk penelitian lebih lanjut. Bagian akhir skripsi ini adalah bagian penutup yang berisi daftar pustaka bahan kajian pustaka dan lampiran hasil penelitian.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Galium Oksida ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ )

Galium oksida ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ) adalah semikonduktor yang memiliki celah pita energi lebar ( $E_g=4,8 \text{ eV}$ ) dan secara intrinsik bersifat insulator. Galium oksida akan menjadi semikonduktor tipe-n jika dalam keadaan reduksi (vakansi oksigen) yang bekerja sebagai “*shallow donor*” dengan energi ionisasi  $E_d \approx 0,03 - 0,04 \text{ eV}$  (Binet and Didier, 1998). Bahan  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  ini stabil dengan struktur kristal  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  pada temperatur tinggi (Kim, N.H. and Kim H.W., 2004b) dengan parameter kisi  $a = 12,23 \pm 0,02 \text{ \AA}$ ,  $b = 3,04 \pm 0,01 \text{ \AA}$ ,  $c = 5,80 \pm 0,01 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 103,7 \pm 0,3^\circ$  dan ruang group  $C2/m$  (Gollakota, P., 2006).



Gambar 2.1 Struktur kisi  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  (Gollakota, P., 2006)

Galium oksida stabil ( $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ ) mempunyai struktur kristal monoklinik dengan ruang group  $C2/m$  yang kedua sisi kationnya terdiri atas oktahedral dan tetrahedral dengan kuantitas yang sama tersusun dalam rantai/ikatan yang sejajar

sepanjang sumbu b. Hal ini ditunjukkan dengan perhitungan empiris bahwa struktur pita di atas pita valensi dibentuk oleh orbital 2p dari oksigen yang tidak berikatan, ketika di dasar pita konduksi didominasi oleh orbital 4s dari galium oktahedral yang berada pada energi yang lebih tinggi. Hal ini berkaitan dengan absorpsi optik, yang menunjukkan bahwa sisi absorpsi dengan koordinat tetrahedral  $\text{Ga}^{3+}$  berada pada energi yang lebih rendah dalam senyawa dengan koordinat tetrahedral  $\text{Ga}^{3+}$  (Binet and Didier, 1998).

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, E.G. *et al*, 2003). Luminesensi UV terjadi oleh transisi intrinsik karena rekombinasi “*self-trapped-exiton*”. Luminesensi biru berhubungan dengan tekanan parsial oksigen dan dihasilkan oleh rekombinasi tunneling dari elektron donor  $V_o$  dengan akseptor yang digambarkan sebagai pasangan vakansi bermuatan ( $V_o, V_{\text{Ga}}$ ). Pita donor berada 0,04 – 0,05 eV di bawah pita konduksi dan pita akseptor berada 0,42 eV di atas pita valensi. Selanjutnya elektron secara termal terdistribusi antara pita konduksi dan pita donor. Luminesensi hijau terjadi karena adanya impuritas khusus, tapi mekanismenya masih belum jelas sampai sekarang.

Material fosfor berbasis oksida seperti  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  lebih stabil daripada material sulfida baik secara fisis maupun kimia ketika diaplikasikan *flat panel display*. Fosfor oksida memiliki celah pita yang lebih lebar dibandingkan dengan fosfor sulfida. Pada temperatur lebih dari 600°C bahan fosfor oksida akan memperoleh luminesensi yang lebih tinggi (Hao, J., *et al*, 2004). Untuk

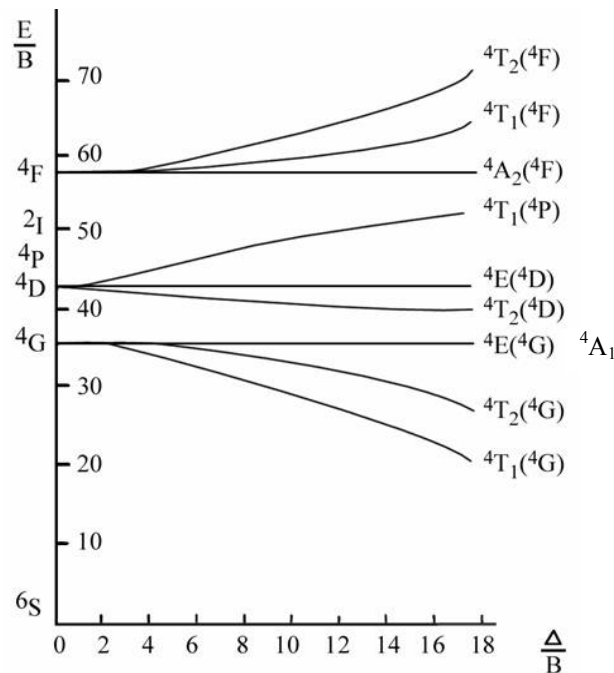
meningkatkan intensitas luminesensi dari fosfor berbasis oksida telah dilakukan dengan aktivasi menggunakan unsur Mn dan Eu yang menghasilkan emisi hijau dan merah, berturut-turut (Minami, T., 2003). Eu (III) kompleks juga menunjukkan sifat efisiensi kuantum dan kecepatan radiasi tinggi pada material luminesen organik (Hao, J., *et al*, 2004). Mn memiliki “*excellent luminescent center*” untuk devais TFEL (Gollakota, P., 2006).

## 2.2 Galium Oksida Doping Mn

Mn merupakan unsur transisi periode empat dengan nomor atom 25 dan konfigurasi elektron :  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^5$ . Mn memiliki titik lebur  $1245^\circ\text{C}$  dan titik didih  $2145^\circ\text{C}$ . Logam transisi yang keras getas ini dijumpai sebagai pirolusit ( $\text{MnO}_2$ ). Unsur-unsur transisi periode keempat ini pada umumnya terdapat di alam dalam bentuk oksida, sulfida atau karbonat. Karakteristik yang dimiliki unsur transisi antara lain: senyawa-senyawanya umumnya berwarna, memiliki sifat paramagnetik, dapat bertindak sebagai katalis dan memiliki titik titik lebur yang tinggi dari pada unsur-unsur utama.

Ion-ion logam transisi mempunyai konfigurasi elektron  $d^n$  ( $0 < n < 10$ ) dengan kulit  $d$  yang tidak penuh. Tingkat energi berasal dari konfigurasi elektron yang telah dihitung menggunakan diagram Tanabe-Sugano antara elektron  $d$  dan medan kristal. Konfigurasi  $d^5$  ( $\text{Mn}^{2+}$ ) banyak digunakan dalam material luminesensi. Koordinasi oktahedral tingkat dasar adalah  ${}^6A_1$  (Blasse, G. dan Gräbmaier, B.C., 1994).





Gambar 2.2 diagram Tanabe-Sugano untuk tingkat energi konfigurasi  $d^5$  sebagai fungsi medan kristal oktahedral. Sumbu x adalah tingkat ground state ( $6S \rightarrow 6A_1$ ).

Hal penting dari spektrum absorpsi  $Mn^{2+}$  adalah perbedaan lebar transisi optik. Khususnya pita  ${}^6A_1 \rightarrow {}^4A_1$  dan  ${}^4E$  sangat berdekatan, sedangkan pita  ${}^6A_1 \rightarrow {}^4T_1$  dan  ${}^4T_2$  agak lebar. Ini menunjukkan bahwa lebar pita berhubungan dengan vibrasi, karena medan kristal kuat bervariasi selama vibrasi, diagram Tanabe-Sugano memprediksi lebar pita absorpsi. Jika level dicapai setelah absorpsi bergerak sejajar dengan tingkat dasar (sumbu x), maka diharapkan variasi  $\Delta$  akan mempengaruhi transisi energi dan lebar pita absorpsi (Blasse, G. dan Grabmaier, B.C., 1994).

Ion  $Mn^{2+}$  mempunyai emisi yang dipengaruhi oleh lebar pita dan posisi yang bergantung pada kuatnya kisi bahan yang didoping (*host*). Emisi dapat bervariasi dari hijau ke merah dalam (*deep red*). Peluruhan waktu emisi ini sekitar

ms. Dari diagram Tanabe-Sugano ditunjukkan bahwa emisi ion  $\text{Mn}^{2+}$  sesuai dengan transisi  ${}^4T_1 \rightarrow {}^6A_1$ . Transisi ini menjelaskan semua sifat spektrum: “lebar pita karena perbedaan slope tingkat energi, peluruhan waktu dan pengaruh medan kristal kisi *host* terhadap warna yang diemisikan. Secara tetrahedral, koordinat  $\text{Mn}^{2+}$  (medan kristal lemah) memberikan emisi hijau dan secara oktahedral koordinat  $\text{Mn}^{2+}$  (medan kristal kuat) memberikan emisi warna jingga sampai merah (Blasse, G. dan Grabmaier, B.C., 1994).

Unsur mangan memberikan sedikit kenaikan pada bahan untuk menuju sistem oksida yang lebih kompleks, biasanya senyawa  $\text{MnO}$ ,  $\text{Mn}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$  dan  $\text{MnO}_2$  dengan polimorf yang berbeda-beda. Material-material tersebut digunakan untuk meningkatkan aplikasi dalam katalis yang heterogen, untuk oksidasi total senyawa organik yang mudah menguap, untuk *selective oxidation of alcohols*, dan dalam elektrokimia sebagai komponen katoda baterai kering. Secara termodinamika, bentuk stabil galia adalah  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$ , yang strukturnya diperoleh dari struktur *spinel* yang cacat tapi kation dan vakansinya teratur dan terjadi distorsi monoklinik (Escribano, V.C., *et al*, 2003). Galium oksida dibuat sebagai komponen utama sensor gas karena sifat semikonduktornya, sebagai TCO (*transparent conductive oxide*) dan sebagai bahan fosfor karena sifat luminesensinya. Galium oksida juga sebagai komponen katalis untuk “*selective removal*” nitrogen oksida dari “*car exhaust gases*”, untuk aktivasi metana, perubahan fase uap dari campuran fenol dan amoniak ke dalam *aniline* dan untuk dehidrogenasi alkana. Galium oksida diaktivasi oleh mangan dengan tujuan sebagai bahan luminesen yang potensial (Escribano, V.C., *et al*, 2003).

Fotoluminesensi *nanowire* mangan-galium oksida dipelajari dalam temperatur ruang antara 10 K sampai dengan 300 K. Emisi hijau dapat diamati dengan transisi elektron  ${}^4T_1 \rightarrow {}^6A_1$  dalam ion  $\text{Mn}^{2+}$  ( $3d^5$ ) (Song, Y.P., *et al*, 2005). Peningkatan konsentrasi doping Mn dalam *nanowire* akan menyebabkan bertambahnya atom Ga yang disubstitusi oleh Mn dan struktur kristal berubah dari fase monoklinik menjadi fase *spinel*. Sifat optik *nanowire* mangan-galium oksida dipelajari dengan pengukuran fotoluminesensi di bawah eksitasi laser He-Cd dengan garis panjang gelombang 325 nm. Spektrum PL (*photoluminescence*) dari penumbuhan *nanowire*  $\beta\text{-Ga}_2\text{O}_3$  menunjukkan puncak emisi daerah biru (475 nm) dan UV (330 nm), sedangkan *nanowire* mangan-galium oksida mempunyai puncak emisi daerah hijau sekitar 536 nm pada temperatur 10 K dan 559 nm pada temperatur 300 K. Ketika ion Mn dengan konfigurasi elektron  $3d^5$  dimasukkan ke dalam *host material* ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ), ion-ion tersebut menjadi aktivator dalam *nanowire* galium oksida. Medan kristal oktahedral atau tetrahedral yang simetri menyebabkan pemisahan tingkat ion bebas. Pita emisi dijelaskan dengan transisi  ${}^4T_1 \rightarrow {}^6A_1$  dalam ion  $\text{Mn}^{2+}$  ( $3d^5$ ). Jika dibandingkan dengan literatur dimana puncak pita emisi  $\text{Mn}^{2+}$  sekitar 518 nm, pada sampel pita emisi sedikit bergeser ke daerah merah. Hal ini disebabkan oleh konsentrasi Mn yang lebih besar. Doping Mn yang lebih besar dalam *nanowire*, memiliki strain yang lebih kuat dalam kisi yang menghasilkan variasi medan kristal di sekitar  $\text{Mn}^{2+}$ . Hal ini dapat dijadikan alasan untuk diyakini bahwa pita emisi  $\text{Mn}^{2+}$  sedikit bergeser karena variasi medan kristal (Song, Y.P., *et al*, 2005).

Pada film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  doping Mn ( $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ ) yang ditumbuhkan dengan *rf magnetron sputtering* maupun *dip-coating* menunjukkan bahwa intensitas emisi bergantung pada kadar doping Mn, temperatur substrat dan perlakuan annealing pasca penumbuhan (Miyata, T. *et al*, 2000). Film yang ditumbuhkan dengan *rf sputtering* pada temperatur  $350^\circ\text{C}$  menunjukkan amorf dan pada temperatur di atasnya tampak adanya kristal  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dan luminesensi hijau juga teramati. Film amorf  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  menjadi kristal setelah dilakukan annealing pada temperatur  $1000^\circ\text{C}$ . Karakteristik elektroluminesensi TFEL dari  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  juga bergantung pada temperatur substrat dan temperatur annealing, sedangkan pada film yang ditumbuhkan dengan *dip-coating*, setelah diannealing pada  $1020^\circ\text{C}$  menunjukkan emisi hijau yang kuat.

Material oksida fosfor berguna sebagai lapisan emisi dalam devais TFEL (*Thin Film Electroluminescent*). Pembuatan devais TFEL dengan teknik *dip coating* dari bahan  $\text{ZnGa}_2\text{O}_4:\text{Mn}$ ,  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dan  $\text{CaGa}_2\text{O}_4:\text{Mn}$  menunjukkan bahwa bahan  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  memiliki luminesensi tertinggi sebesar  $1000 \text{ cd/m}^2$  dalam daerah emisi hijau ketika diatur pada frekuensi 1 kHz (Minami, T. *et al*, 1998).

Nanopartikel  $\text{ZnS}:\text{Mn}$  telah ditumbuhkan dengan teknik *rf magnetron sputtering* pada substrat silikon dan kaca dengan temperatur 300 K. Berdasarkan pengukuran spektrum transmitansi dari film, nilai *bandgap* langsung diperoleh dengan nilai energi gapnya berada pada rentang 3,89 eV – 4,12 eV. *Bandgap* berkurang dengan meningkatnya konsentrasi Mn dalam film. Fotoluminesensi doping Mn dalam ZnS menunjukkan intensitas puncak PL (*photoluminescence*) pertama meningkat dengan meningkatnya konsentrasi Mn dalam film sampai

doping Mn 3,8% dan pada konsentrasi Mn yang lebih tinggi dari 3,8% intensitas puncak PL (*photoluminescence*) berkurang (Ghosh, P.K., *et al*, 2006).

### 2.3 Sifat Optik

Sifat optik suatu material semikonduktor dapat diketahui dari besarnya koefisien absorpsi optik dan lebar celah pita energinya *E<sub>g</sub>*. Koefisien absorpsi optik dan lebar celah pita energi dapat ditentukan dengan menggunakan pengukuran transmisi atau absorpsi. Proses absorpsi terjadi ketika foton dengan energi lebih besar dari celah pita energi semikonduktor terserap oleh material. Proses ini biasanya menghasilkan pasangan elektron hole (eksiton). Ada dua jenis transisi optik yang berkaitan dengan proses absorpsi yaitu transisi langsung (*direct band to band transition*) dan transisi tidak langsung (*indirect band to band transition*). Pada transisi langsung hanya dibutuhkan foton, sedangkan pada transisi tidak langsung selain foton ada penambahan energi yang diberikan dalam bentuk fonon (Sato, *et al*, 2001).

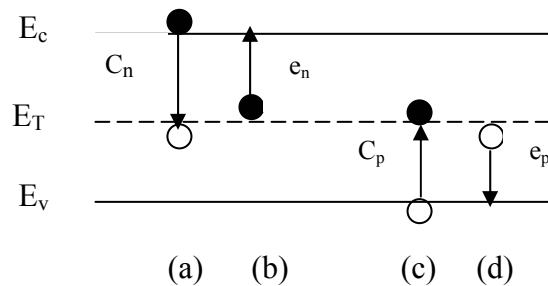
Hal-hal yang mempengaruhi penentuan besarnya celah pita energi dari pengukuran absorpsi optik pada material semikonduktor antara lain: pengaruh pertama berhubungan dengan terbentuknya *band tail* karena konsentrasi impuritas atau cacat kristal yang tinggi dan bergabung ke dalam pita konduksi dan pita valensi. Efek ini menghasilkan tepi absorpsi eksponensial dalam semikonduktor. Efek penyusutan pita semikonduktor ini terjadi karena adanya ketidakteraturan susunan atom pengotor pada kekisi atom yang didoping (*host*). Atom-atom pengotor yang menempati secara acak menyebabkan fluktuasi random pada tepi

pita dan terjadi *band tail* (Singh, 1993). Pengaruh kedua yaitu karena adanya pembentukan eksiton dalam semikonduktor. Kondisi eksiton mungkin dalam keadaan bebas, berikatan mendesak ke permukaan atau bergabung dengan cacat kompleks. Eksiton mempunyai energi ikat yang kecil dalam orde beberapa meV sehingga eksiton dapat muncul dengan sendirinya berupa puncak tajam di bawah tepi absorpsi. Eksiton biasanya teramati lebih jelas pada suhu rendah dan mengalami disosiasi *free carrier* pada temperatur ruang (Sulastri, E., 2006).

### 2.3.1 Cacat Kristal

Cacat kristal yang sering terjadi dalam bahan semikonduktor adalah cacat garis (*dislocation*) dan cacat titik (*point defect*). Dislokasi adalah cacat kristal yang terjadi karena bagian kristal bergeser ke bagian lain (Singh, 1993). Dislokasi yang sering terjadi disebabkan karena adanya pergeseran ikatan kristal. Dislokasi dapat menyebabkan atom-atom terlepas dari ikatan tetangga terdekatnya sehingga dapat menghasilkan *deep level* pada pita energi. *Deep level* ini dapat menjadi perangkap elektron dan hole saat proses rekombinasi pada pita energi (Singh, 1993). Cacat titik atau sering disebut cacat alami dikelompokkan menjadi tiga yaitu kekosongan (*vacancy*), *self interstitial*, dan *antisite*. Kekosongan adalah cacat kristal yang terjadi karena atom-atom tidak menempati posisi pada kisi kristal sehingga posisi atom tidak terisi (kosong). *Self interstitial* adalah cacat kristal yang disebabkan adanya penambahan atom-atom di antara kekisi kristal yang terjadi secara spontan, sedangkan *antisite* adalah cacat kristal yang terjadi apabila kation menempati posisi anion dan sebaliknya anion menempati posisi kation (Morkoc, 1999).

Cacat titik dapat menyebabkan gangguan lokal di dalam kristal. Pertama, gangguan yang menyebabkan perubahan potensial periodik dalam satu atau beberapa unit sel atau yang dinamakan *deep level* (dengan tingkat energi yang berada jauh dari energi pita valensi dan pita konduksi). Kedua, terjadi perubahan potensial yang semakin luas dan terdapat lebih dari sepuluh unit sel, ini dinamakan sebagai *shallow level* (dengan tingkat energi yang berdekatan dengan energi pita valensi  $E_v$  dan energi pita konduksi  $E_c$  (Singh, 1995)



Gambar 2.3 Diagram pita energi elektron untuk semikonduktor dengan impuritas

Gambar 2.3(a) merupakan proses penangkapan elektron dari  $E_c$  menuju  $E_T$  dan emisi elektron dari  $E_T$  menuju  $E_c$  terjadi pada peristiwa (b), sedangkan gambar (c) penangkapan hole dari  $E_v$  menuju  $E_T$  dan (d) adalah emisi hole dari  $E_T$  menuju  $E_v$ . Rekombinasi terjadi dari peristiwa (a) diikuti peristiwa (c). Proses pembangkitan (*generation*) terjadi dari peristiwa (b) diikuti peristiwa (d). *Trapping* elektron terjadi dari peristiwa (a) diikuti peristiwa (b) dan *trapping* hole terjadi dari peristiwa (c) diikuti peristiwa (d) (Schroder, 1990).

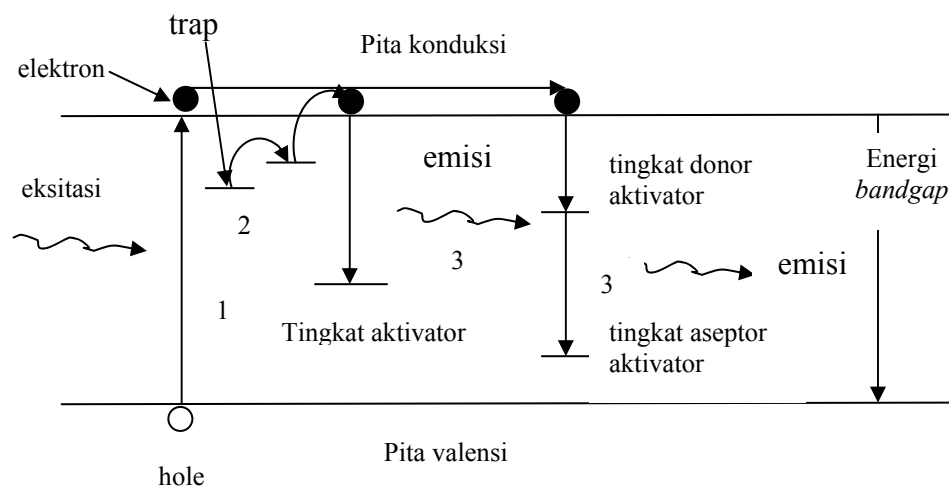
### 2.3.2 Fotoluminesensi

Luminesensi didefinisikan sebagai peristiwa bahan menyerap energi dan kemudian secara spontan dalam keadaan tereksitasi akan kembali ke keadaan

semula dengan memancarkan (emisi) cahaya tampak atau mendekati cahaya tampak. Dalam proses ini adanya energi dari luar mengeksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi. Sumber energi luar dapat berupa elektron berenergi tinggi atau cahaya foton. Elektron yang tereksitasi selama peristiwa luminesensi turun ke tingkat energi yang lebih rendah. Dalam beberapa kasus elektron berekombinasi dengan hole. Jika waktu emisi  $10^{-8}$  s setelah eksitasi, maka luminesensi tersebut disebut fluoresensi, dan jika waktu emisi lebih lama dari  $10^{-8}$  s disebut fosforesensi.

Material yang dapat menghasilkan luminesensi disebut *phosphor*. Material fosfor mempunyai kemampuan mengabsorpsi energi tinggi, radiasi gelombang pendek, secara spontan mengemisikan energi yang lebih rendah, dan radiasi cahaya dengan panjang gelombang ( $\lambda$ ) lebih panjang. Spektrum emisi bahan luminesensi dapat diatur dengan penambahan impuritas yang disebut *activator*. Dalam aktivator terdapat tingkat energi diskrit dalam energi *gap* antara pita konduksi dan pita valensi dari material *host* (Gambar 2.4) (Smith, William F, 1993).



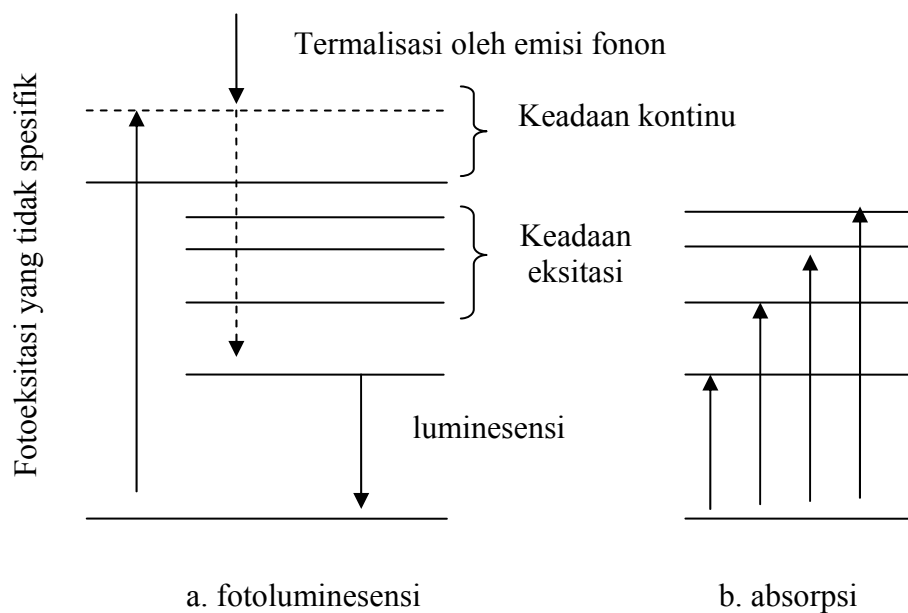


Gambar 2.4 perubahan energi selama luminesensi (1) pasangan elektron hole diciptakan oleh eksitasi elektron ke pita konduksi atau ke trap, (2) elektron dapat dieksitasikan secara termal dari trap satu ke trap yang lain atau ke pita konduksi, (3) elektron dapat turun ke tingkat donor aktivator yang lebih rendah dan kemudian ke tingkat aseptor yang lebih rendah, mengemisikan cahaya tampak

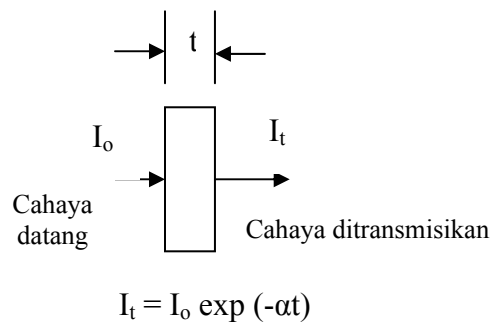
Luminesensi dapat dieksitasikan dengan berbagai jenis energi. Misalnya, fotoluminesensi adalah luminesensi yang dieksitasikan oleh radiasi elektromagnetik (biasanya UV), katodaluminesensi dieksitasikan oleh elektron yang dipercepat oleh energi dari katoda, elektroluminesensi dieksitasikan oleh tegangan listrik, triboluminesensi dieksitasikan oleh energi mekanik (*grinding*), *X-ray* luminesensi dieksitasikan oleh sinar X, dan chemiluminesensi dieksitasikan oleh energi reaksi kimia. Termoluminesensi tidak dieksitasikan dengan eksitasi termal, tapi dengan stimulasi luminesensi dengan cara yang berbeda (Blasse, G. dan Grabmaier, B.C., 1994).

Fotoluminesensi (PL) adalah luminesensi yang dieksitasikan dengan foton (biasanya laser). Fotoluminesensi (PL) mendeteksi transisi optik dari keadaan

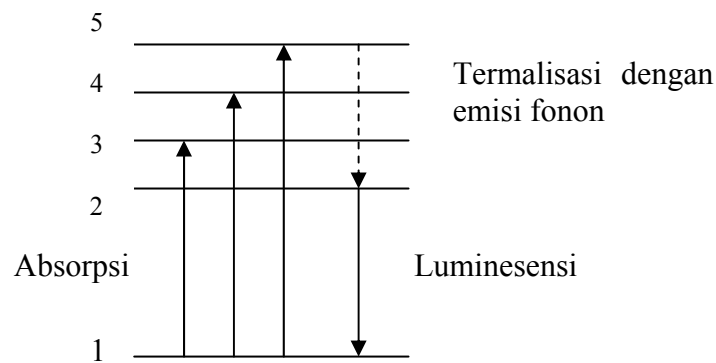
elektron tereksitasi menuju ke keadaan elektron yang lebih rendah, biasanya *ground state*. Jika terdapat banyak keadaan yang tereksitasi, hanya transisi dari keadaan eksitasi terendah yang dapat diamati pada temperatur rendah karena kecepatan termalisasi. Keadaan sederhana dapat digambarkan dalam Gambar 2.5, absorpsi optik dapat mendeteksi transisi dari *ground state* ke semua keadaan eksitasi. Selain itu, absorpsi optik adalah pengukuran mutlak; koefisien absorpsi  $\alpha$  ditentukan dari perubahan intensitas cahaya yang ditransmisikan sebanding dengan konsentrasi pusat absorpsi (Gambar 2.6). Oleh karena itu absorpsi lebih sulit diukur daripada yang berhubungan dengan luminesensi, khususnya dalam lapisan tipis atau saat konsentrasi cacat rendah. Teknik yang berguna untuk mendeteksi absorpsi lemah, atau absorpsi dalam lapisan tipis yang mengabsorpsi substrat adalah *photoluminescence excitation spectroscopy* (PLE) yang digambarkan dalam Gambar 2.7 (Stradling dan Klipstein, 1990).



Gambar 2.5 Skema fotoluminesensi dan absorpsi optik pada temperatur rendah



Gambar 2.6 Absorpsi optik. Koefisien absorpsi  $\alpha$  sebanding dengan konsentrasi pusat absorpsi



Gambar 2.7 Skema eksitasi luminesensi. Absorpsi lemah ke dalam keadaan eksitasi 3, 4 dan 5 dideteksi oleh emisi luminesensi dari keadaan 2

## 2.4 Magnetron Sputtering

### 2.4.1 Plasma

Plasma merupakan gas quasinetral yang terdiri atas elektron, ion bermuatan positif dan molekul netral yang mempunyai sifat kolektif (Suryadi, 2003). Gaya makroskopis yang bekerja pada molekul netral, misal gelombang bunyi yang dihasilkan pengeras suara, akan dipancarkan ke molekul lewat proses

tumbukan. Keadaan akan sangat berbeda untuk plasma yang mengandung partikel-partikel bermuatan. Ketika partikel bermuatan bergerak, maka akan memungkinkan terjadinya konsentrasi muatan positif atau negatif di suatu titik tertentu, yang akan mengakibatkan timbulnya medan listrik. Gerakan partikel bermuatan akan menimbulkan arus listrik yang mengakibatkan timbulnya medan magnet. Medan listrik dan medan magnet ini akan mempengaruhi gerak partikel muatan lain yang berada di tempat jauh. Gaya Coulomb yang berjangkauan panjang akan menyebabkan kelakuan kolektif. Sifat kolektif berarti partikel plasma dengan muatan sejenis akan saling mengumpul dan terpisah dengan partikel yang berlawanan.

Sifat dasar plasma yang lain adalah kemampuannya untuk menyelubungi diri terhadap tegangan listrik dari luar. Jika dimasukkan dua elektroda penghantar yang dihubungkan dengan sumber tegangan ke dalam plasma. Kedua elektroda akan menarik partikel yang mempunyai muatan yang berlawanan dengan dirinya. Awan elektron akan mengelilingi elektroda positif dan awan ion positif mengelilingi elektroda negatif (Suryadi, 2003). Jumlah ion dalam plasma relatif sama dengan jumlah elektron sehingga plasma dikatakan quasinetral. Di dalam plasma, gaya elektromagnetik memegang peranan yang cukup penting, sehingga tumbukan antar partikel bermuatan dengan partikel netral tidak berpengaruh. Pergerakan elektron dan ion dalam plasma tidaklah statis, tetapi selalu bergerak secara acak. Pergerakan ini berlaku untuk ketiga komponen di dalam plasma, yakni elektron, ion positif dan molekul netral (tereksitasi). Dalam kesetimbangan termodinamika fluks elektron jauh lebih besar dari pada fluks ion. Hal ini

disebabkan oleh massa elektron lebih kecil dibanding massa ion sehingga pergerakan elektron lebih cepat dari pada pergerakan ion.

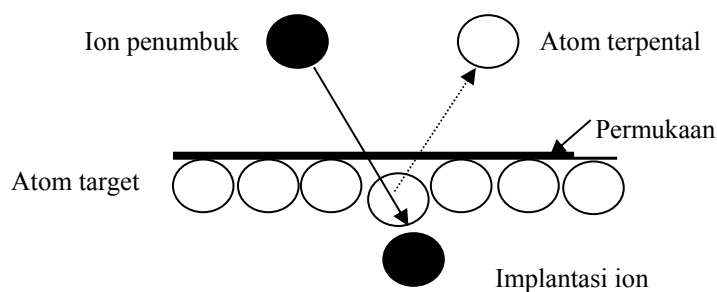
#### **2.4.2 Sputtering**

Sistem *sputtering* pada umumnya berupa tabung lucutan pijar yang di dalamnya terpasang elektroda (anoda dan katoda), target dipasang pada katoda dan substrat diletakkan pada anoda, serta dilengkapi dengan sistem vakum, sistem masukan gas, sistem pendingin target, sistem pemanas substrat dan sistem catu daya (DC atau RF). *Sputtering* sendiri merupakan proses penembakan partikel-partikel (atom-atom atau ion-ion) berenergi tinggi pada sebuah target sehingga atom-atom individu target memperoleh energi yang cukup tinggi untuk melepaskan diri dari permukaan target. Atom-atom yang tersputter terhambur ke segala arah, kemudian difokuskan pada substrat untuk membentuk lapisan tipis (Sudjatmoko, 2003).

Proses *sputtering* terjadi karena tumbukan terjadi terus-menerus antara ion-ion penumbuk dengan atom-atom permukaan target. Atom-atom target yang terhambur berpindah ke permukaan substrat. Perpindahan atom-atom permukaan target pada permukaan substrat menjadi isotropik sehingga terbentuk film tipis pada permukaan substrat (Wasa and Hayakawa, 1992). Dengan melakukan variasi dalam proses deposisi lapisan tipis maka akan diperoleh sifat-sifat khusus dalam film yang terbentuk. Selain itu hasil sputtering dipengaruhi oleh energi partikel yang datang, material target, sudut datang partikel pada permukaan target dan struktur kristal permukaan target.

Plasma yang digunakan dalam penumbuhan lapisan tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  ini berasal dari gas argon sebagai gas pensputter. Alasan digunakannya gas argon ini adalah: berat atomnya relatif tinggi ( $M_r = 40$ ), harganya murah, termasuk gas mulia yang bersifat inert (sulit berikatan dengan unsur yang lain), dan mudah mengalami ionisasi (Lai, 2000).

Teknik *sputtering* memiliki beberapa kelebihan, antara lain: lapisan yang terbentuk mempunyai komposisi yang serupa dengan bahan target, kualitas, struktur dan keseragaman hasil lapisan dikendalikan oleh tingkat homogenitas target, mempunyai rapat arus yang besar sehingga memungkinkan terjadinya laju deposisi yang tinggi, dan lapisan yang terbentuk mempunyai kekuatan rekat yang tinggi terhadap permukaan substrat (Sudjatmoko, 2003).



Gambar 2.8 Proses sputtering pada permukaan target secara fisis

### 2.4.3 *dc magnetron Sputtering*

*Sputtering* pada tekanan rendah adalah salah satu teknik yang sangat menjanjikan untuk menghasilkan piranti-piranti lapisan tipis.. Dengan teknik ini dapat dibuat berbagai macam lapisan tipis dengan sedikit kontaminasi pada lapisan tipis dan pada laju deposisi yang sangat tinggi (Sudjatmoko, 2003).

Teknik paling sederhana yang digunakan untuk penumbuhan film tipis adalah teknik *dc magnetron sputtering*. Sistem *dc sputtering* terdiri atas sepasang elektrode planar. Salah satu dari elektrode tersebut adalah katode dingin dan lainnya adalah sebuah anode. Pada bagian katode dipasang suatu bahan target dan pada bagian belakangnya didinginkan dengan air pendingin, sedangkan substrat dipasang sebagai anode. Substrat tersebut dapat dipanaskan menggunakan suatu sistem pemanas. Apabila tabung *sputter* diisi dengan gas Ar (argon) dan pada elektrode dipasang beda potensial, maka antara elektrode terjadi lucutan pijar (*glow discharge*). Atom-atom permukaan target yang tertumbuk keluar akan menempel pada permukaan substrat sehingga terbentuk film tipis.

*DC magnetron sputtering* ini menggunakan sistem magnet yang diletakkan dibawah katoda. Magnet membentuk lingkupan medan magnet untuk membelokkan partikel bermuatan. Elektron-elektron dikurung dalam lingkupan medan magnet dekat target dan mengakibatkan ionisasi pada gas argon lagi. Jumlah ion-ion yang ditarik ke permukaan target menjadi lebih banyak. Semakin banyak ion-ion yang menumbuk target, hasil sputtering semakin meningkat.

Peningkatan derajat ionisasi dan terjadinya *resputtering* pada penumbuhan film tipis dapat dicegah dengan memasang magnet permanen di bawah target dengan tujuan membuat perangkap elektron dari medan magnet yang dihasilkan. Jumlah elektron yang menuju anoda berkurang karena elektron banyak terperangkap medan magnet, sehingga efisiensi ionisasi gas argon meningkat. Proses *sputtering* juga dapat menimbulkan pemanasan pada target akibat tembakan ion-ion berenergi, sehingga dapat menyebabkan atom-atom oksida yang

lebih ringan menguap dan resistansinya berkurang serta untuk menjaga kekuatan magnet agar tidak hilang maka daerah target dialiri dengan air pendingin.



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

Penelitian yang dilakukan bersifat eksperimental. Kegiatan eksperimen ini terdiri atas tiga tahap yaitu pembuatan target, deposisi film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dan karakterisasi film yang terbentuk. Pembuatan bahan target  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  memiliki kandungan Mn sebesar 2% dan 5%. Target  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dipasang pada katoda dan substrat Si (100) pada anoda selama penumbuhan film. Penelitian ini memfokuskan pada studi tentang pengaruh tekanan gas argon terhadap sifat optik film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  yang ditumbuhkan di atas substrat silikon Si (100) dengan metode *dc magnetron sputtering*. Deposisi film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dilakukan dengan variasi parameter tekanan gas argon (Ar).

#### **3.1 Tempat dan Waktu Penelitian**

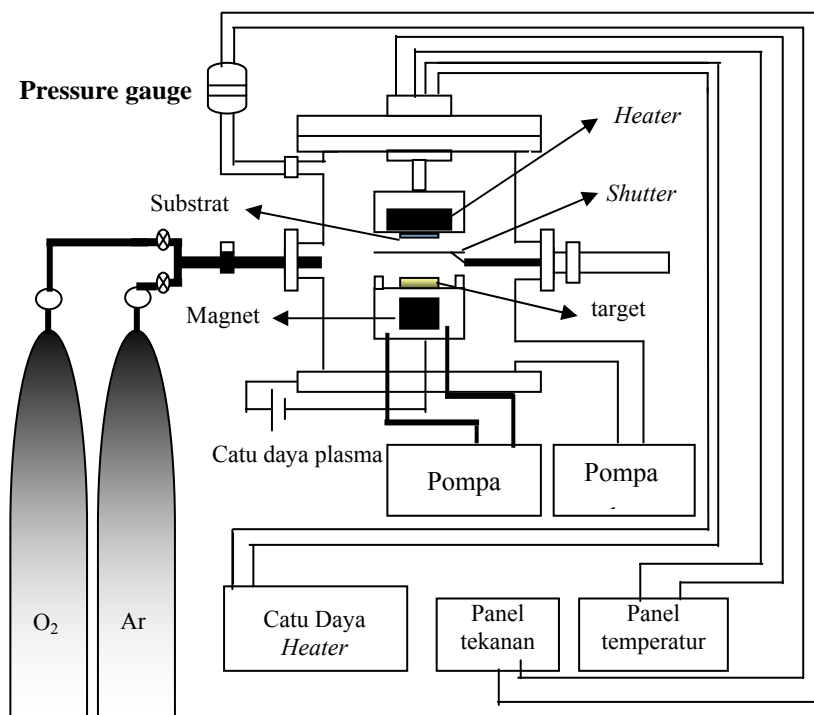
Tempat penelitian penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dilaksanakan di Laboratorium Fisika Material FMIPA Unnes. Film tipis yang dihasilkan dikarakterisasi di beberapa tempat yaitu Universitas Negeri Sebelas Maret (UNS) untuk uji struktur kristal film tipis menggunakan XRD (*X-ray diffraction*) dan Universiti Teknologi Malaysia untuk uji sifat optik dengan menggunakan *photoluminescence* (PL). Waktu penelitian dilakukan pada bulan Mei s.d. Juli 2007.

### 3.2 Alat dan Bahan

Proses penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  menggunakan reaktor *dc magnetron sputtering* yang terdiri atas:

- a. Tabung plasma berbentuk silinder (diameter 30 cm) terbuat dari stainless steel. Tabung plasma dilengkapi tutup yang dapat dibuka dan ditutup. Pada dinding terdapat satu jendela untuk mengamati plasma, satu lubang untuk sistem vakum dan satu lubang untuk sistem masukan gas.
- b. Sumber tegangan DC yang dapat dibangkitkan hingga 800 volt, dengan dilengkapi voltmeter, amperemeter serta sistem proteksi terhadap terjadinya *overload* (kelebihan arus).
- c. Sepasang elektroda planar berbentuk lingkaran dengan diameter 6 cm yang terbuat dari stainless steel. Elektroda disusun horizontal sejajar di dalam tabung plasma dengan katoda terletak di bagian bawah dan anoda di bagian atas, jarak antara elektroda dapat diatur dengan cara menaikkan dan menurunkan batang penyangga.
- d. Sistem pemanas substrat yang terdiri atas elemen pemanas, sumber tegangan DC 40 volt, termokopel dan termometer digital.
- e. Sistem pendingin target berupa air yang dialirkan secara terus menerus di belakang katoda oleh pompa air.
- f. Sistem vakum yang terdiri atas pompa rotari dan alat pengukur tekanan dalam tabung. Dua buah *valve* digunakan untuk mengatur pompa yang diaktifkan.
- g. Sistem masukan gas untuk mengalirkan gas ke dalam tabung plasma.

Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dengan kandungan Mn sebesar 2% dan 5% sebagai target, substrat Si (100) sebagai tempat tumbuhnya film tipis, gas argon sebagai gas pensputter, pencuci substrat (aseton, metanol, DI water dan larutan HF), dan pasta perak untuk merekatkan substrat pada anoda dalam *dc magnetron sputtering*.



Gambar 3.1 Sistem reaktor *dc magnetron sputtering*

### 3.3 Prosedur Penelitian

#### 3.3.1 Pembuatan Target $\text{Ga}_2\text{O}_3$ doping Mn ( $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ )

Pembuatan target berupa pellet  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dibuat dari pencampuran serbuk  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  dengan kemurnian 99,99% dan serbuk Mn dengan kandungan Mn dalam ( $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ ) sebesar 2% dan 5%. Massa total campuran  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  adalah 10 gram. Mekanisme pembuatannya meliputi: penggerusan selama  $\pm 2$  jam,

pemadatan atau pengepresan dengan sistem pompa hidrolis menjadi pelet dengan diameter 2,5 cm, kemudian pelet disintering pada suhu 900°C selama tiga jam dan didinginkan. Pelet Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn dapat digunakan sebagai target dalam penumbuhan film tipis.

### 3.3.2 Preparasi Substrat

Substrat dibutuhkan sebagai tempat untuk penumbuhan film tipis. Substrat harus memiliki parameter kisi dan koefisien termal yang hampir sama dengan material yang digunakan sebagai penumbuhan film tipis. Pada penumbuhan film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn substrat yang digunakan adalah Si (100). Substrat Si dipotong dengan ukuran kurang lebih (1x1) cm<sup>2</sup>. Setelah itu substrat dicuci dengan aseton dan metanol untuk menghilangkan kotoran (minyak dan lemak) yang menempel pada permukaan substrat masing-masing selama sepuluh menit dan lima menit dalam *ultrasonik bath*. Kemudian dibilas dengan DI (*De ionized*) water dan dicelup dengan larutan HF 10% untuk menghilangkan oksida-oksida yang masih menempel pada substrat. Selanjutnya dibilas lagi dengan DI water. Terakhir, substrat dikeringkan dengan menyemprotkan gas nitrogen ke seluruh permukaan substrat.

### 3.3.3 Deposisi Film Tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doping Mn

Penumbuhan film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn dilakukan dengan menggunakan metode *dc magnetron sputtering* di laboratorium Fisika Material FMIPA Unnes. Adapun langkah-langkah penumbuhannya diuraikan sebagai berikut:

- a. Target Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn dipasang pada katoda dan substrat Si (100) dipasang pada anoda dengan perekat pasta perak,

- b. Substrat dipanaskan pada temperatur sampai 100°C dengan menghidupkan catu daya *heater* untuk mengeringkan pasta perak. Kemudian dimasukkan ke dalam *chamber* dengan memasang tutup reaktor dan reaktor ditutup,
- c. *Chamber* divakumkan sampai tekanan 0-5 mTorr dengan menghidupkan pompa pemvakum serta menghidupkan sistem pendingian (menghidupkan pompa air),
- d. Temperatur *chamber* dinaikkan sampai 600°C dengan menghidupkan catu daya *heater* pada
- e. Tegangan 20 volt dan mengatur panel kontrol temperatur,
- f. Gas sputtering (argon) dialirkan dalam *chamber* dengan membuka kran saluran gas (besarnya tekanan sesuai dengan yang diinginkan sebagai parameter deposisi). Dalam penelitian ini tekanan gas argon yang digunakan divariasasi mulai 550 mTorr, 600 mTorr, dan 650 mTorr,
- g. Plasma dibangkitkan dengan menghidupkan catu daya tegangan tinggi dc sampai tegangan (*volt*) dan arus (*Ampere*) mencapai nilai yang sesuai (sesuai daya yang diinginkan, penelitian ini menggunakan daya  $\pm 35$  watt), kemudian *shutter* dibuka ketika plasma sudah stabil dan proses penumbuhan dimulai,
- h. *Shutter* ditutup setelah waktu penumbuhan mencapai 3 jam kemudian plasma dimatikan dengan menurunkan tegangan catu daya plasma hingga 0 volt kemudian dimatikan dan kran saluran gas Ar,
- i. Temperatur *chamber* diturunkan dengan menurunkan catu daya *heater* hingga mencapai 0 volt kemudian dimatikan dan mengatur penurunan temperatur sampai 30°C,

- j. Pompa pemvakum, sistem pendingin, panel tekanan dan panel kontrol temperatur dimatikan setelah temperatur *chamber* mencapai 30°C dan,
- k. Tutup reaktor dibuka dengan membuka kran aliran udara masuk, kemudian substrat (sampel) diambil.

### 3.4 Karakterisasi Film Tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> doping Mn

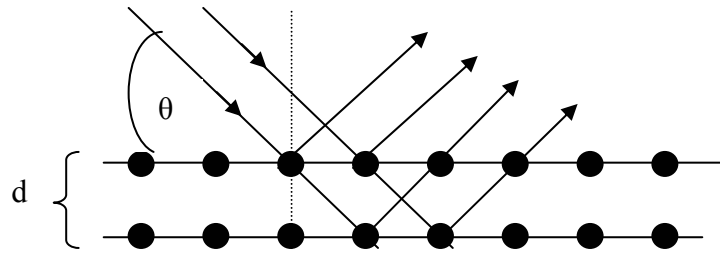
Karakterisasi dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji sifat-sifat film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn yang dideposisikan di atas permukaan substrat Si (100) dengan metode *dc magnetron sputtering*. Sifat-sifat yang dikaji adalah struktur dan orientasi kristal serta sifat optik film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn.

#### 3.4.1 XRD

Karakterisasi struktur dan orientasi bidang kristal dapat dilakukan dengan XRD (*X-ray diffraction*). Sinar X dimanfaatkan untuk mengidentifikasi struktur kristal. Penggambaran proses difraksi meliputi tiga hal yaitu hamburan (*scattering*), interferensi dan difraksi. Sinar X yang mengenai bidang kristal akan dihamburkan ke segala arah (Gambar 3.2). Sinar-sinar pantul yang sefase yang berbeda lintasan sebesar kelipatan bulat dari panjang gelombang akan menimbulkan interferensi saling menguatkan. Pemantulan dan interferensi bergabung menjadi difraksi. Difraksi akan saling menguatkan jika terpenuhi persamaan Bragg sebagai berikut:

$$2 d \sin \theta = n \lambda \quad \dots\dots\dots(3.1)$$

dengan  $n$  = bilangan bulat,  $\lambda$  = panjang gelombang sinar-X,  $d$  = jarak antar atom dalam bidang kristal dan  $\theta$  = sudut difraksi.



Gambar 3.2 Difraksi sinar-X oleh kristal

Spektrum keseluruhan dari sinar-X bersifat polikromatis (spektrum malar dan karakteristik). Untuk keperluan difraksi digunakan spektrum karakteristik ( $K\alpha_1$ ,  $K\alpha_2$ , dan  $K\beta$ ) dengan intensitas terkuat, biasanya spektrum  $K\alpha$ . Selanjutnya untuk menjamin agar berkas sinar-X benar-benar monokromatis diperlukan filter. Bahan filter bergantung pada panjang gelombang spektrum  $K\alpha$  yang dipakainya. Sinar monokromatis diperoleh dengan menggunakan kristal monokromator, biasanya grafit yang diketahui ruang kisi terorientasi hanya mendifraksi radiasi  $K\alpha$  dan tidak mendifraksi radiasi  $K\beta$ . Pada umumnya  $CuK\alpha$  sering digunakan untuk XRD. Panjang gelombang garis  $K\alpha$  memiliki energi yang lebih besar daripada  $L\alpha$  sehingga sering digunakan untuk XRD (Suryanarayana, 1998).

Tabel 3.1. Penggunaan panjang gelombang X-Ray K dalam XRD (nm)

unsur	$K\alpha$ ( <i>Weighted average</i> )	$K\alpha_2$ ( <i>strong</i> )	$K\alpha_1$ ( <i>very strong</i> )	$K\beta$ ( <i>weak</i> )
Cr	0,229100	0,229361	0,228970	0,208487
Fe	0,193176	0,193998	0,193604	0,175661
Co	0,179026	0,179026	0,178897	0,162079
Cu	0,154184	0,154439	0,154056	0,139222
Mo	0,071073	0,071359	0,070930	0,063229

Sumber: Suryanarayana, 1998:14

Karakterisasi XRD dilakukan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Sebelas Maret (UNS), Solo. Dengan XRD dapat diketahui jenis-jenis unsur maupun senyawa yang terkandung dalam material (walaupun hanya secara kualitatif). Informasi langsung yang diperoleh dari uji struktur kristal dengan XRD adalah kurva difraktogram dengan sudut hamburan ( $2\theta$ ) sebagai variabel bebas (sumbu X) dan intensitas I sebagai variabel tergantung (sumbu Y). Radiasi sinar-X dari sampel yang ditembak dengan berkas elektron menghasilkan puncak-puncak spektrum energi tertentu sesuai dengan unsur yang terkandung di dalam sampel. Adanya puncak-puncak intensitas pada sudut tertentu dari hasil difraktogram menunjukkan bidang kristal tertentu. Ada tiga karakter dasar puncak difraksi yang memberikan gambaran mengenai kondisi pengukuran dan sifat-sifat kristal, yaitu posisi, tinggi dan lebar bentuk puncak difraksi.

Pola difraksi yang diperoleh dari difraktometer menggambarkan status kristalinitas material sampel. Pertama, dapat dilihat dengan jelas dari sebuah pola difraksi adalah keadaan fasa kristal atau fasa amorf. Keberadaan fasa kristal langsung dapat dilihat dari adanya puncak-puncak difraksi, sedangkan material amorf memberikan pola berbentuk puncak difraksi atau intensitas latar yang tidak teratur. Pada dasarnya identifikasi fasa di dasarkan pada perbandingan atau pencocokkan data posisi-posisi puncak difraksi yang terukur dengan hasil penelitian sebelumnya JCPDS (*joint committee on powder diffraction standart*).

### **3.4.2 Photoluminescence (PL)**

Karakterisasi sifat optik dari film tipis menggunakan pengukuran *photoluminescence* (PL). PL merupakan teknik yang tidak merusak dan digunakan



untuk menentukan impuritas tertentu dalam bahan semikonduktor. PL ini khusus untuk mendeteksi impuritas *shallow-level*, tapi juga dapat diaplikasikan untuk impuritas *deep-level* tertentu. Dalam PL terjadi peristiwa rekombinasi radiatif.

Dengan kata lain, prinsip kerja photoluminesensi adalah menembakkan foton dengan energi yang cukup tinggi pada sampel film, sehingga elektron pada pita valensi tereksitasi dan menempati keadaan energi yang lebih tinggi. Elektron tersebut mengalami keadaan metastabil dan mempunyai energi kinetik besar serta mengalami termalisasi sangat cepat untuk menuju ke keadaan stabil. Kemudian elektron menuju keadaan energi yang lebih rendah yaitu ke pita valensi atau hanya berada diantara pita konduksi dan pita valensi dengan memancarkan radiasi elektromagnetik yang menghasilkan rekombinasi radiatif.

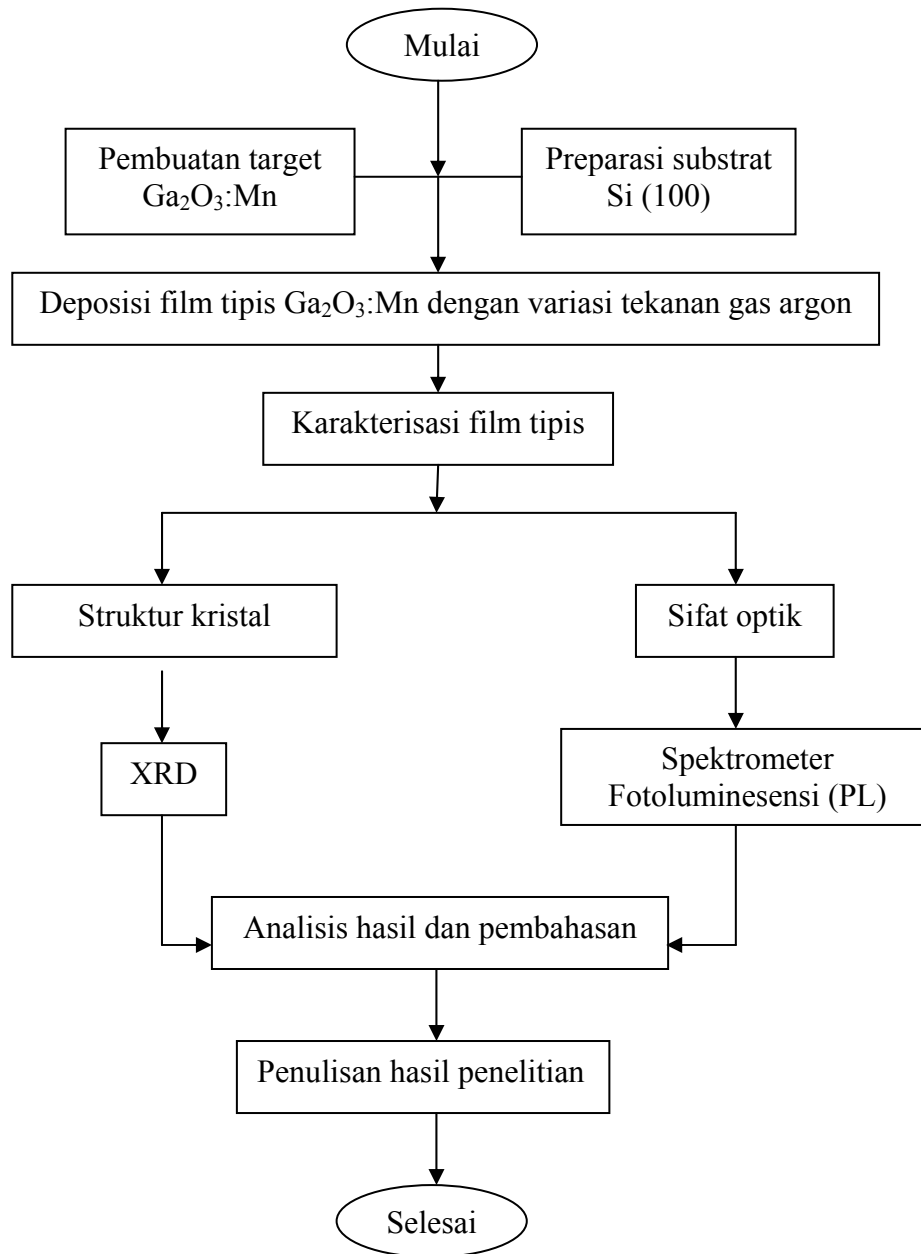
*Photoluminescence* (PL) jarang digunakan dalam karakterisasi bahan semikonduktor. PL mudah mengidentifikasi impuritas tapi sulit untuk mengukur besarnya konsentrasi impuritas. PL dapat memberikan informasi serempak pada banyak jenis impuritas dalam sebuah sampel. Oleh karena itu, hanya impuritas yang menghasilkan proses rekombinasi radiatif yang dapat dideteksi (Schroder, 1990).

Karakterisasi sifat luminesensi film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  menggunakan spektrometer fotoluminesensi Perkin Elmer LS.55 yang dilengkapi dengan program FL Winlab. Karakterisasi dilakukan di Laboratorium Film Tipis, Jabatan Fizik, Universiti Teknologi Malaysia. Spektrometer tersebut menggunakan sumber eksitasi berupa *Xenon flash tube*. Hasil karakterisasi berupa grafik intensitas luminesensi terhadap panjang gelombang (*nm*). Tingginya nilai intensitas pada

daerah panjang gelombang tertentu menunjukkan puncak emisi luminesensi bahan sampel.

### **3.5 Diagram Alir Penelitian**

Berdasarkan uraian di atas, pelaksanaan penelitian dapat dilukiskan dalam sebuah diagram yang menggambarkan alur penelitian dengan singkat dan jelas, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  telah dilakukan di atas substrat Si (100) dengan metode *dc magnetron sputtering*. Parameter yang digunakan selama penumbuhan adalah pada temperatur substrat  $600^\circ\text{C}$ , daya plasma 35 Watt, dan waktu penumbuhan selama 3 jam. Parameter yang divariasi adalah tekanan gas argon dari 550, 600, dan 650 mTorr dan fraksi mol Mn sebesar 2% dan 5% ditunjukkan pada Tabel 4.1.

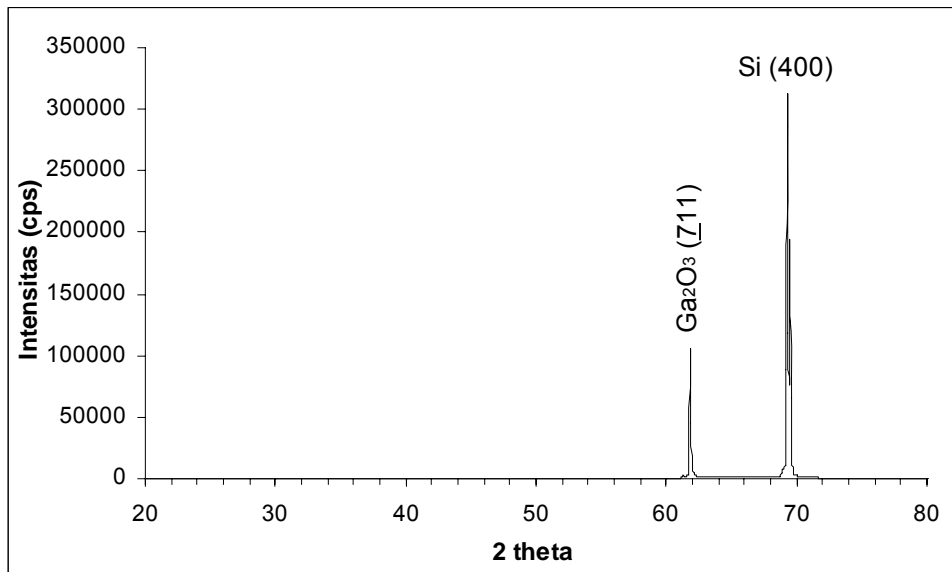
Tabel 4.1 Parameter penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  pada substrat Si (100)

Sampel	Tekanan gas argon (mTorr)	Doping Mn
GaO:Mn #F	550	2%
GaO:Mn #I		5%
GaO:Mn #H	600	2%
GaO:Mn #G		5%
GaO:Mn #J	650	2%
GaO:Mn #K		5%

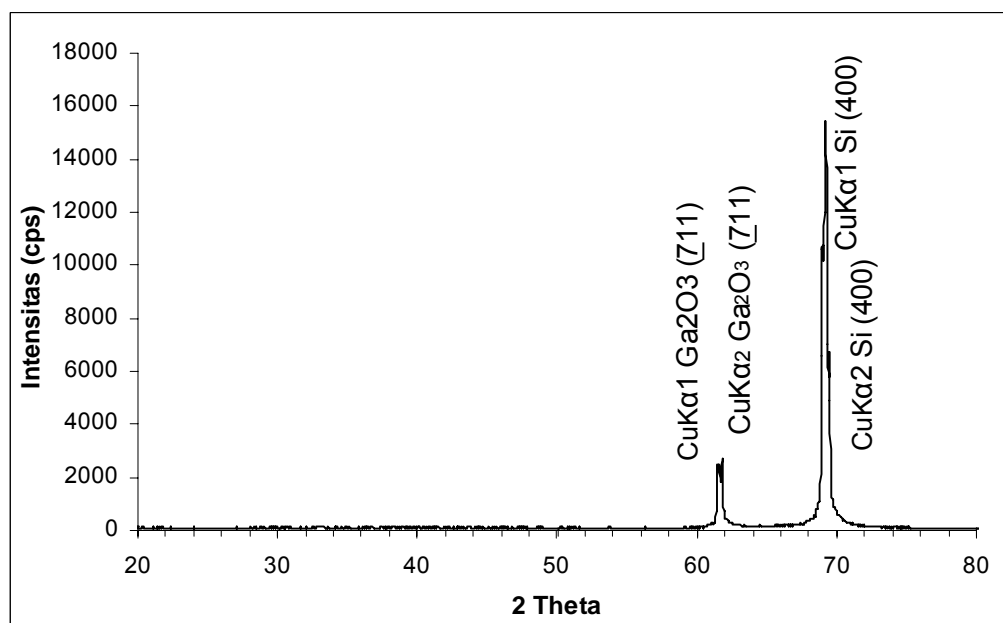
#### 4.1 Karakterisasi Film Tipis $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ dengan XRD

Film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  yang ditumbuhkan di atas substrat Si (100) dikarakterisasi dengan XRD (*X-ray diffraction*) dengan target dari bahan Cu, tegangan generator 40 kVolt, arus 30 mA dan menggunakan radiasi  $\text{CuK}\alpha$  dengan panjang gelombang  $\text{K}\alpha_1 = 1,54056 \text{ \AA}$  dan  $\text{K}\alpha_2 = 1,54439 \text{ \AA}$ . Hasil karakterisasi

XRD digunakan untuk mengidentifikasi struktur dan fase kristal, dalam keadaan amorf atau kristal dan orientasi bidang kristal ( $hkl$ ) lapisan tipis. Gambar 4.1 menunjukkan hasil karakterisasi XRD film  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dalam kurva difraktogram dengan tekanan gas argon berbeda.



Gambar 4.1a Spektrum XRD film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  2% ( $P_{\text{Ar}}=550$  mTorr)



Gambar 4.1b Spektrum XRD film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  2% ( $P_{\text{Ar}}=600$  mTorr)

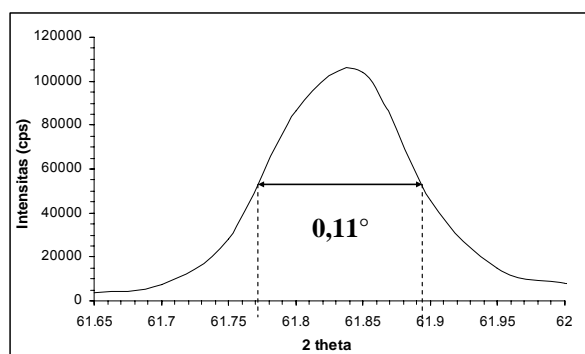
Gambar 4.1a merupakan kurva difraktogram film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn 2% dengan tekanan gas argon 550 mTorr. Pada gambar tersebut teramati puncak difraksi berada pada sudut  $2\theta = 61,83^\circ$ . Berdasarkan data JCPDS (*joint committee on powder diffraction standard*), sudut puncak difraksi tersebut bersesuaian dengan orientasi bidang ( $\bar{7}11$ ) yang menunjukkan lapisan tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn memiliki struktur monoklinik, sedangkan pada sudut difraksi  $2\theta = 69,23^\circ$  dengan intensitas tertinggi dimiliki oleh substrat Si dengan orientasi bidang (400) pada fase kubik. Film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn 2% pada tekanan gas argon 550 mTorr bersifat monokristal karena hanya terdapat satu puncak difraksi Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

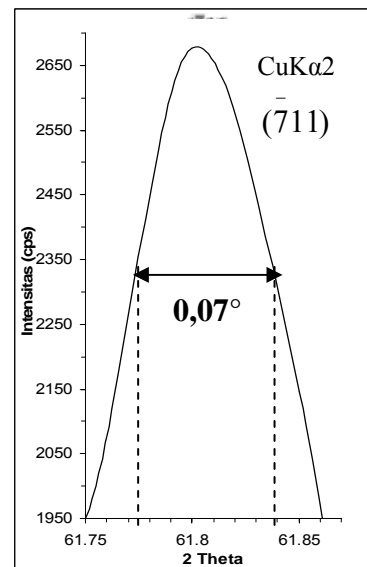
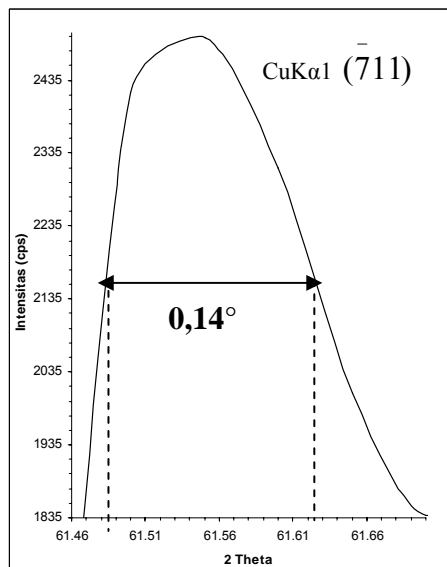
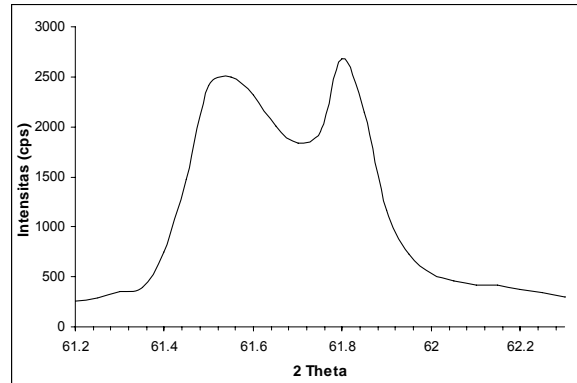
Hasil XRD film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn 2% pada tekanan gas argon 600 mTorr ditunjukkan pada Gambar 4.1b. Dalam kurva difraktogram tersebut terdapat puncak-puncak difraksi yang mengalami *splitting* (pemecahan) yaitu pada sudut  $2\theta = 61,54^\circ$ ,  $61,80^\circ$ ,  $69,11^\circ$  dan  $70,00^\circ$ . Kemungkinan hal ini disebabkan oleh filter radiasi K $\alpha$  dari pengujian XRD dalam sampel 600 mTorr tidak optimal, sehingga ada dua buah panjang gelombang (K $\alpha_1$  dan K $\alpha_2$ ) yang mengenai sampel dan memunculkan dua buah puncak difraksi saling berdekatan (puncak difraksi terlihat seperti pecah).

Dari data pada Tabel 3.1 dan perhitungan pada Lampiran 3, untuk  $d = 1,50349 \text{ \AA}$  puncak difraksi pada sudut  $2\theta = 61,54^\circ$  bersesuaian dengan  $2\theta = 61,64^\circ$  (K $\alpha_1 = 1,54056 \text{ \AA}$ ) dan sudut  $2\theta = 61,80^\circ$  sesuai puncak difraksi dengan sudut  $2\theta = 61,80^\circ$  (K $\alpha_2 = 1,54439 \text{ \AA}$ ). Dari data JCPDS maka sudut  $2\theta = 61,54^\circ$  dan  $61,80^\circ$  menunjukkan film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn terorientasi pada bidang kristal

$(\bar{7}11)$  yang memiliki struktur monoklinik. Hal yang sama juga terjadi pada sudut  $2\theta = 69,11^\circ$  dan  $70,00^\circ$  yang bersesuaian dengan  $2\theta = 69,11^\circ$  ( $K\alpha_1=1,54056 \text{ \AA}$ ) dan  $2\theta = 69,31^\circ$  ( $K\alpha_2=1,54439 \text{ \AA}$ ), berturut-turut untuk  $d = 1,35801 \text{ \AA}$ . Jika sudut-sudut tersebut dibandingkan dengan data JCPDS maka akan sesuai dengan bidang Si (400).

Sementara itu, penambahan tekanan gas argon pada kedua sampel menunjukkan adanya perubahan harga FWHM (*full width at half maximum*) film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  pada orientasi bidang  $(\bar{7}11)$ . Kualitas kristal yang baik secara umum digambarkan dengan intensitas puncak paling tinggi dan memiliki nilai FWHM paling kecil. Tampak pada gambar 4.1 terjadi penurunan intensitas pada puncak  $(\bar{7}11)$  dengan FWHM melebar. Pada sampel  $\text{GaO}:\text{Mn}$  #F ( $P_{\text{Ar}} = 550$  mTorr) memiliki nilai FWHM sebesar  $0,11^\circ$ , sedangkan sampel  $\text{GaO}:\text{Mn}$  #H ( $P_{\text{Ar}} = 600$  mTorr) memiliki FWHM untuk  $\text{CuK}\alpha_1$  ( $2 \times 0,14^\circ = 0,28^\circ$ ) dan  $\text{CuK}\alpha_2$  ( $2 \times 0,07^\circ = 0,14^\circ$ ) (lihat Gambar 4.2). Semakin sempit FWHM maka intensitas semakin tinggi (orientasi kristal film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  semakin seragam) dan kualitas film lebih baik.



Gambar 4.2a FWHM  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn } 2\%$  dengan  $P_{\text{Ar}} = 550 \text{ mTorr}$ Gambar 4.2b FWHM  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn } 2\%$  dengan  $P_{\text{Ar}} = 600 \text{ mTorr}$ 

Ketika kristal film tumbuh dengan arah bidang yang homogen, susunan atom pada bidang kristal seragam dan memiliki jarak yang sama. Pada saat berkas sinar-X menumbuk atom pada kristal, masing-masing atom menghasilkan gelombang terdifraksi. Gelombang ini akan berinterferensi menghasilkan intensitas yang bervariasi. Tingginya intensitas dipengaruhi oleh banyaknya bidang-bidang pemantul pada susunan atom film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$ . Semakin

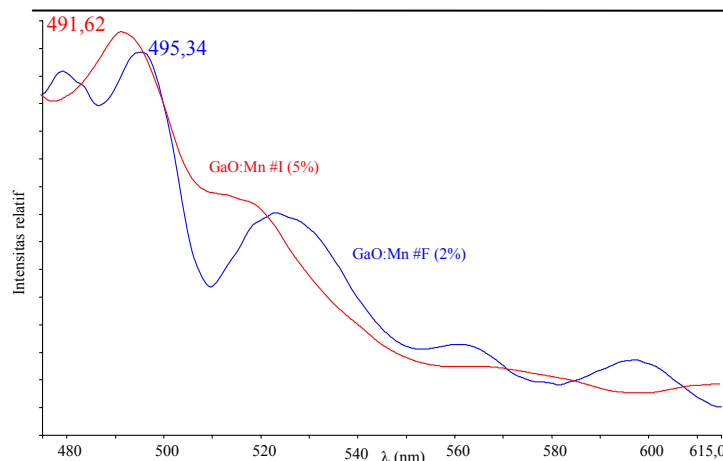


banyak bidang-bidang pemantul, interferensi dari gelombang terdifraksi akan saling menguatkan yang menyebabkan semakin tinggi pula intensitasnya. Banyaknya bidang-bidang pemantul menunjukkan kualitas kristal yang lebih baik dengan susunan dan jarak atom yang lebih teratur, sehingga secara kualitatif dapat dikatakan bahwa tingginya intensitas menggambarkan kualitas kristal yang lebih baik.

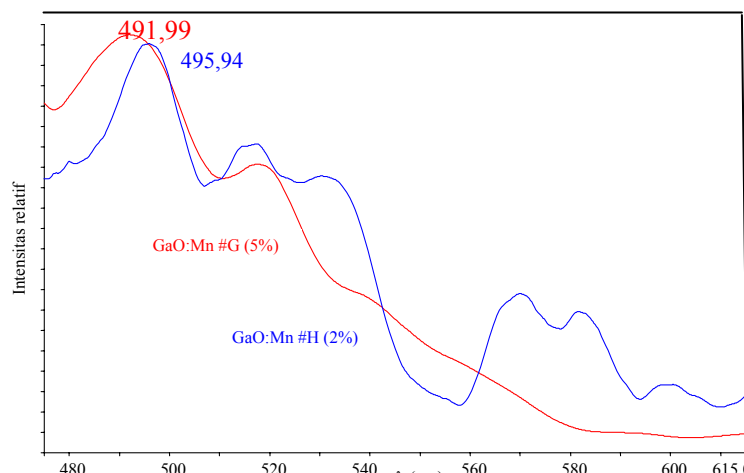
Penambahan tekanan gas argon pada penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  tidak menampakkan perubahan struktur kristal film yang signifikan. Struktur kristal kedua sampel  $\text{GaO}:\text{Mn} \#F$  ( $P_{\text{Ar}} = 550$  mTorr) dan  $\text{GaO}:\text{Mn} \#H$  ( $P_{\text{Ar}} = 600$  mTorr) menunjukkan fase monoklinik dengan orientasi bidang  $(\bar{7} 11)$  dan hanya terdapat satu buah puncak saja sehingga film dapat dikatakan monokristal. Besarnya tekanan argon tidak akan mempengaruhi struktur kristal film  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  yang ditumbuhkan di atas substrat Si (100). Hasil penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  2% pada tekanan gas argon 550 mTorr memiliki kualitas kristal yang lebih baik daripada tekanan gas argon 600 mTorr. Penambahan tekanan gas argon (sebagai gas pensputter) saat penumbuhan menyebabkan banyak atom-atom target yang menuju substrat dan susunan atom-atomnya kurang teratur karena pada saat atom target menuju substrat untuk menata diri datang atom lain sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menempati dan menata diri pada substrat lebih singkat dan kurang maksimal.

#### **4.2 Karakterisasi *Photoluminescence* (PL)**

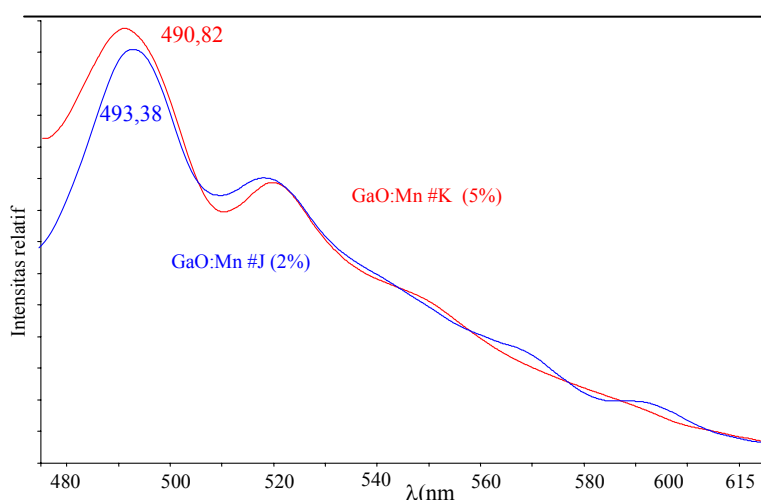
Uji karakterisasi sifat optik film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  telah dilakukan menggunakan *photoluminescence* (PL) dengan eksitasi pada panjang gelombang 220 nm. Gambar 4.3 menunjukkan spektrum fotoluminesensi film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  pada doping Mn yang berbeda dan Gambar 4.4 spektrum fotoluminesensi pada tekanan gas argon yang berbeda. Posisi awal mulai naiknya spektrum fotoluminesensi, secara fisis menandai awal terjadinya eksitasi elektron. Keadaan ini diperkirakan sebagai celah pita optik (*optical bandgap*) film tipis. Eksitasi elektron menunjukkan besarnya serapan optik film tipis terhadap energi foton gelombang cahaya yang melewatinya. Gelombang elektromagnetik dapat terserap jika energi foton melebihi celah pita energi film tipis (Maruly, I.D., 2007).



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.3 Spektrum fotoluminesensi dengan fraksi mol Mn berbeda, pada (a) tekanan argon 550 mTorr, (b) tekanan argon 600 mTorr dan (c) tekanan argon 650 mTorr.

Pada Gambar 4.3 menunjukkan spektrum fotoluminesensi film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dengan fraksi mol Mn 2% dan 5%. Intensitas tertinggi berada di daerah panjang gelombang hijau (490-496 nm). Pada tekanan argon 550, 600 dan 650 mTorr intensitas luminesensi meningkat dengan bertambahnya fraksi mol Mn dan puncak panjang gelombangnya bergeser ke arah kiri ( $\lambda$  pendek) yaitu 495,34 ke 491,62 nm (550 mTorr); 495,94 nm ke 491,99 (600 mTorr); 493,38 nm ke 490,82 nm (650 mTorr), berturut-turut. Absorpsi optik terjadi untuk energi yang lebih besar dari *bandgap* ( $E_g$ ). Absorpsi ini menciptakan elektron pada pita konduksi dan hole pada pita valensi. Pasangan elektron-hole akan berekombinasi dengan memancarkan radiasi tampak (Blasse, G. dan Grabmaier, B.C., 1994).

Mangan (Mn) salah satu material fosfor yang bersifat *excellent luminescent center*. Ketika ion-ion  $\text{Mn}^{2+}$  ( $3d^5$ ) dimasukkan dalam *host* material ( $\text{Ga}_2\text{O}_3$ ), ion-ion  $\text{Mn}^{2+}$  menjadi aktivator dalam bahan  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  (Song, Y.P., *et al*, 2005). Semakin banyak doping Mn yang terdapat dalam film tipis maka intensitas luminesensi film juga meningkat. Kondisi ini mengindikasikan bahwa bertambahnya fraksi mol Mn dapat meningkatkan luminesensi (Minami, T., 2003).

Doping Mn dalam material  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  memunculkan emisi pada daerah panjang gelombang 490-496 nm dengan warna hijau. Pita emisi ini sesuai dengan transisi ion  $\text{Mn}^{2+}$  ( $3d^5$ ) yaitu  ${}^4T_1 \rightarrow {}^6A_1$ . Ion  $\text{Mn}^{2+}$  mempunyai emisi yang dipengaruhi oleh lebar pita (*bandgap*) dan posisi yang bergantung pada kuatnya kisi bahan yang didoping (*host*). Emisi ion  $\text{Mn}^{2+}$  dapat bervariasi dari hijau sampai merah dalam (*deep red*). Peluruhan waktu emisi ini sekitar ms. Dari diagram Tanabe-Sugano ditunjukkan bahwa emisi ion  $\text{Mn}^{2+}$  sesuai dengan transisi  ${}^4T_1 \rightarrow {}^6A_1$ . Transisi ini menjelaskan semua sifat spektrum: “lebar pita karena perbedaan slope tingkat energi, peluruhan waktu dan pengaruh medan kristal kisi *host* terhadap warna yang diemisikan. Secara tetrahedrall, koordinat  $\text{Mn}^{2+}$  (memiliki medan kristal lemah) memberikan emisi hijau dan secara oktahedral koordinat  $\text{Mn}^{2+}$  (memiliki medan kristal kuat) memberikan emisi warna jingga sampai merah (Blasse, G. dan Grabmaier, B.C., 1994).

Penambahan fraksi mol Mn menyebabkan terjadinya pergeseran puncak luminesensi. Ini diperkirakan karena konsentrasi Mn yang semakin tinggi dalam  $\text{Ga}_2\text{O}_3$ . Semakin besar doping Mn dalam bahan, strain dalam kisi semakin kuat,

yang menghasilkan variasi medan kristal di sekitar  $Mn^{2+}$  (Song, Y.P., *et al*, 2005). Medan kristal ion  $Mn^{2+}$  yang lemah menyebabkan pita emisi bergeser pada daerah panjang gelombang pendek sehingga *bandgap* lebih lebar ( $\lambda$  pendek= $E_g$  besar). Jadi, pita emisi  $Mn^{2+}$  sedikit bergeser karena dipengaruhi oleh variasi medan kristal. Pergeseran puncak fotoluminesensi juga disebabkan oleh distorsi kisi dan terjadi relaksasi pembawa muatan ke dalam keadaan *deep gap state* sebelum rekombinasi berlangsung (Maruly, I.D., 2007). Pengaruh ini mengimplikasikan bahwa kehadiran atom Mn pada ikatan Ga-O menjadi renggang dan *bandgap* menjadi tegang, sehingga celah pita energi dari spektrum fotoluminesensi semakin besar.

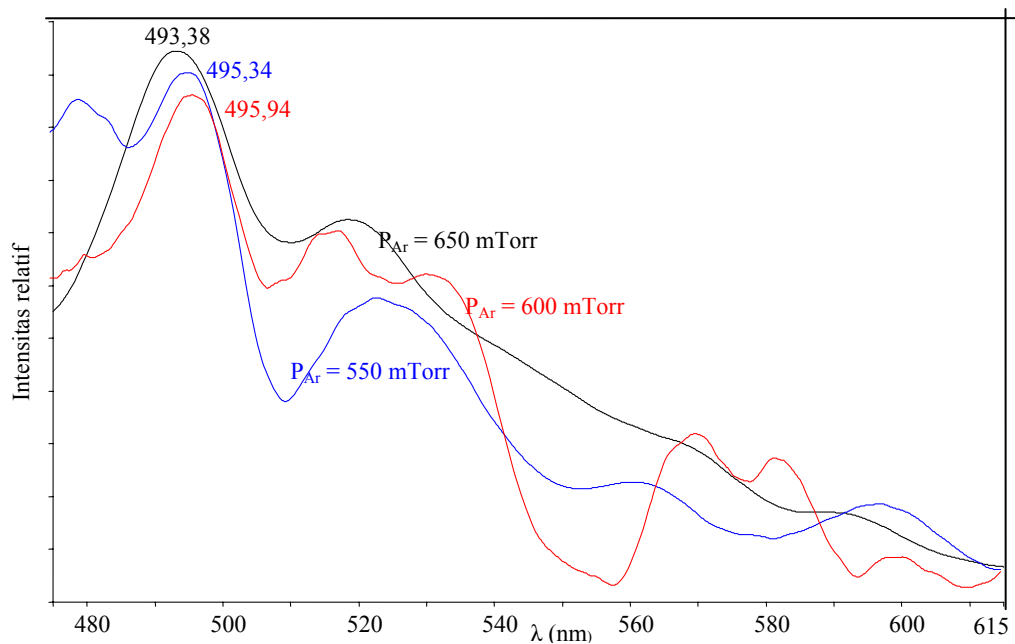
Impuritas atau doping yang terdapat dalam bahan akan memunculkan trap-trap di antara pita valensi dan pita konduksi bahan. Umumnya, jika terdapat doping sedikit maka muncul trap-trap yang dominan berada dekat tepi pita valensi dan pita konduksi, disebut *shallow level*. Apabila terdapat doping/impuritas tinggi maka atom doping terdistribusi secara acak dalam kisi *host*, dan kemungkinan trap-trap yang muncul dapat berpeluang lebih banyak berada di tepi atau lebih ke dalam lagi (*deep level*) di antara pita valensi dan pita konduksi (*bandgap*).

Unsur logam transisi merupakan kelompok *deep impuritas* dalam semikonduktor III-V. Logam transisi dengan orbital *3d* meliputi Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co dan Ni. Elektron berorbital *d* ini berpartisipasi dalam ikatan dengan *host* semikonduktor. Impuritas logam transisi unik karena transisi optik internal dapat terjadi diantara orbital *d* (Schubert, E.F., 1993). Mn bertindak sebagai *deep acceptor* yang memiliki tingkat energi mendekati tengah *bandgap*. Jika semakin

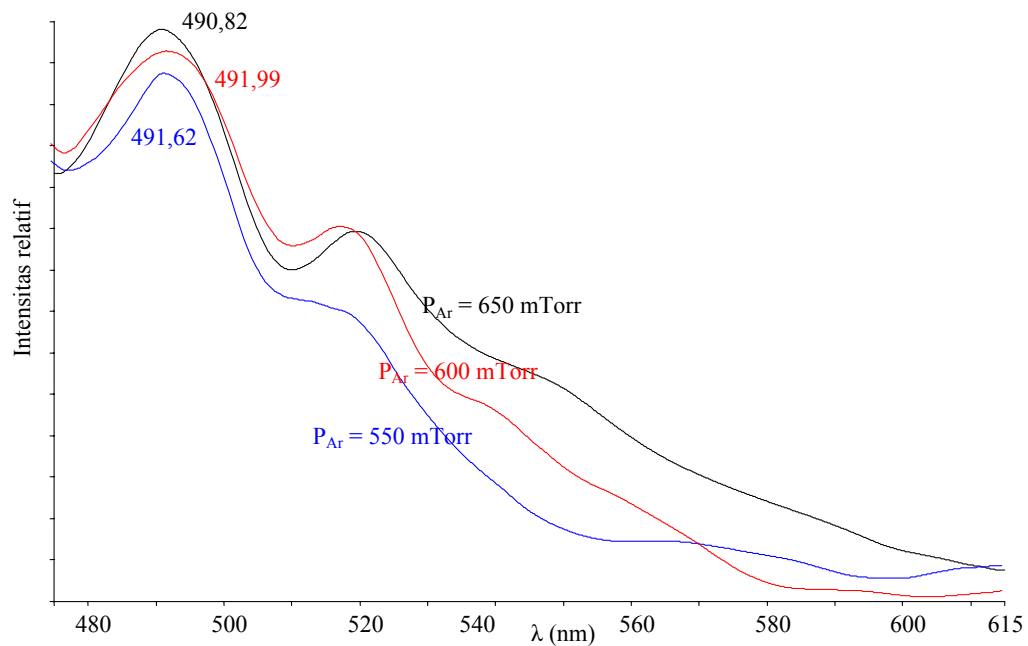
besar konsentrasi Mn maka pita impuritas (*Mn acceptor*) atau trap-trapnya malah terdistribusi menuju dan mendekati pita valensi atau pita konduksi, sehingga energi gap menjadi semakin lebar.

Luminesensi mempelajari beberapa sifat kristal yaitu efek eksiton dan struktur pita. Luminesensi juga dapat mengetahui kualitas kristal. Impuritas yang bekerja sebagai pengganti atom dalam kristal, bahkan dalam kuantitas kecil, memberikan garis luminesensi yang kuat dengan karakteristik panjang gelombang tertentu sesuai dengan konsentrasinya (Peyghambarian, N., *et al*, 1993).

Pada Gambar 4.4 menunjukkan spektrum fotoluminesensi  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  untuk tekanan gas argon berbeda. Bertambahnya tekanan argon meningkatkan intensitas luminesensi dan emisi film semakin dominan berada di daerah panjang gelombang sekitar  $\pm 494$  nm (fraksi mol Mn 2%) dan  $\pm 491$  nm (fraksi mol Mn 5%) dengan warna hijau.



(a)



(b)

Gambar 4.4 Spektrum fotoluminesensi pada tekanan gas argon berbeda

(a) Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn (2%), (b) Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn (5%)

Spektrum fotoluminesensi dengan fraksi mol 2% dapat dilihat pada Gambar 4.4a. Semakin besar tekanan argon (dari 550 ke 650 mTorr) puncak fotoluminesensi memiliki daerah panjang gelombang yang cenderung sama pada daerah emisi hijau, ±494 nm (495,34 nm, 495,94 nm dan 493,38 nm, berturut-turut). Pada tekanan 550 ke 600 mTorr intensitas luminesensinya mengalami penurunan, artinya tekanan 550 mTorr intensitasnya lebih tinggi dari 600 mTorr, sedangkan dari tekanan 600 mTorr ke 650 mTorr intensitasnya meningkat. Hal ini terjadi karena penambahan tekanan argon dapat mempercepat tumbuhnya film pada substrat, tetapi pada tekanan argon 550 ke 600 mTorr struktur kisi atomnya kurang teratur sehingga mempengaruhi intensitas film. Dari hasil XRD diperoleh tekanan 550 mTorr memiliki nilai FWHM lebih sempit daripada tekanan 600

mTorr (semakin sempit nilai FWHM maka intensitas film lebih tinggi karena orientasi kristal lebih seragam). Jadi, intensitas 550 mTorr lebih tinggi daripada 600 mTorr. Pada tekanan 650 mTorr intensitas luminesensi meningkat dan memiliki nilai puncak tertinggi.

Gambar 4.4b menunjukkan spektrum fotoluminesensi  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  5% pada tekanan gas argon berbeda. Hasil fotoluminesensi menyatakan semakin besar tekanan gas argon maka intensitas luminesensi juga semakin meningkat dan puncak panjang gelombang luminesensi mengalami pergeseran yang tidak terlalu signifikan atau dapat dikatakan sama, yaitu  $\pm 491$  nm ( $\pm 2,53$  eV). Bertambahnya tekanan argon (ion-ion pensputter semakin banyak menyebabkan banyak atom target menuju substrat selama penumbuhan) membuat film tumbuh menjadi lebih tebal sehingga spektrum luminesensinya tinggi (semakin banyak bidang pemantulnya).

Penambahan tekanan argon yang lebih besar meningkatkan transfer momentum dari atom-atom tersputter menuju substrat selama penumbuhan. film tumbuh dengan cepat dan kemungkinannya susunan atom lebih rata dan teratur (homogen) serta lapisannya semakin tebal (atom-atom pemantul lebih banyak). Jadi, intensitas film semakin meningkat.

Puncak fotoluminesensi dari tekanan argon 550, 600 dan 650 mTorr dengan fraksi mol Mn 2% dan 5% cenderung berada pada daerah panjang gelombang yang sama yaitu  $\pm 494$  nm (2,52 eV) dan  $\pm 491$  nm (2,53eV) berturut-turut. Puncak fotoluminesensi tidak mengalami pergeseran panjang gelombang secara signifikan karena menggunakan doping Mn yang sama dalam tekanan



argon yang berbeda sehingga film mengeluarkan emisi pada daerah panjang yang sama pula yaitu emisi hijau ( $\pm 491$  nm dan  $\pm 494$  nm).

Pada spektrum fotoluminesensi fraksi mol Mn 2% menunjukkan puncak-puncak luminesensi yang kurang teratur daripada 5% dan keduanya memiliki dua buah puncak utama yaitu pada panjang gelombang  $\pm 490$  nm dan  $\pm 520$  nm. Keadaan ini mengindikasikan bahwa periodisitas spektrum luminesensi terganggu dan dapat disebabkan oleh vibrasi fonon. Dalam fraksi mol Mn 2% trap-trap yang berada di antara dua pita energi distribusinya lebih acak dan berada pada tingkat energi berbeda. Sebaliknya untuk fraksi mol Mn 5% trap-trap/pita impuritasnya terdistribusi lebih teratur dan terkonsentrasi dalam satu tingkat energi yang sama. Puncak luminesensi pada daerah panjang gelombang  $\pm 490$  nm merupakan luminesensi Mn itu sendiri (distribusi doping Mn terlalu besar  $\rightarrow$  banyak atom Ga yang disubstitusi oleh Mn  $\rightarrow$  ikatan Mn dengan *host* material lemah  $\rightarrow$  emisi luminesensi ke kiri *blueshift*). Pada daerah panjang gelombang  $\pm 520$  nm merupakan luminesensi doping Mn dalam  $\text{Ga}_2\text{O}_3$  (distribusi doping Mn cukup rendah  $\rightarrow$  atom Ga yang disubstitusi oleh Mn  $\rightarrow$  ikatan Mn dengan *host* material kuat  $\rightarrow$  emisi luminesensi ke kanan *redshift*).

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn telah ditumbuhkan di atas substrat Si (100) dengan metode *dc magnetron sputtering*. Film ditumbuhkan dengan tekanan gas argon dan jumlah fraksi mol Mn yang divariasikan. Karakteristik XRD menunjukkan penambahan tekanan gas argon pada penumbuhan film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn tidak menampakkan perubahan struktur kristal film yang signifikan. Struktur kristal kedua sampel ( $P_{Ar} = 550$  mTorr dan 600 mTorr) menunjukkan fase monoklinik dengan orientasi bidang  $(\bar{7}11)$ . Sampel pada tekanan 550 mTorr memiliki FWHM lebih kecil, intensitas lebih tinggi dan kualitas kristal lebih baik.

Karakterisasi sifat optik film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:Mn menggunakan *photoluminescence* (PL) dengan eksitasi panjang gelombang 220 nm. Penambahan fraksi mol Mn dalam film tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dapat meningkatkan intensitas fotoluminesensi film dan beorientasi pada daerah panjang gelombang hijau dengan rentang antara 490-496 nm. Pergeseran puncak fotoluminesensi ke panjang gelombang lebih pendek ( $E_g$  lebih besar) dipengaruhi oleh medan kristal dan lebar *bandgap*. Ion Mn<sup>2+</sup> memiliki medan kristal lemah yang mengemisikan warna hijau. Kehadiran atom Mn pada ikatan Ga-O menjadi renggang dan *bandgap* menjadi tegang, sehingga celah pita energi dari spektrum fotoluminesensi semakin besar. Mn *deep impurities* membuat pita impuritas (*Mn*

*acceptor*) terdistribusi menuju dan mendekati pita valensi atau pita konduksi, sehingga energi *bandgap*( $E_g$ ) menjadi semakin lebar.

Penambahan tekanan gas argon pada penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dengan fraksi mol Mn yang sama meningkatkan ketebalan dan orientasi kristal lebih homogen sehingga intensitas luminesensi film bertambah tinggi. Penambahan tekanan gas argon mempengaruhi tingkat intensitas luminesensi film, tapi tidak mempengaruhi daerah puncak panjang gelombang emisinya, yaitu emisi hijau. Puncak panjang gelombang untuk fraksi mol 5% adalah  $\pm 491$  nm (2,53 eV) dan fraksi mol 2% adalah  $\pm 494$  nm (2,52 eV).

## 5.2 Saran

Penumbuhan film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dengan variasi fraksi mol Mn dan tekanan gas argon belum menunjukkan hasil yang optimal, maka perlu dilakukan studi lanjut mengenai optimalisasi tekanan gas argon dengan meningkatkan tekanannya dan mengurangi kadar konsentrasi (jumlah fraksi mol) Mn untuk memperoleh film tipis  $\text{Ga}_2\text{O}_3:\text{Mn}$  dengan kualitas yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfafa, M. 2007. Efek Laju Alir Oksigen pada Penumbuhan Film Tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Metode DC magnetron Sputtering (*Skripsi*). Semarang: FISIKA FMIPA UNNES, hal. 1-51.
- Binet, L. and Gourier, D., 1998, Origin of the blue luminescence of  $\beta$ -Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *J. Phys. Chem Solids* Vol 59, No. 8, pp. 1241–1249.
- Blasse, G., and Grabmaier, B.C. 1994. *Luminescent Materials*. Germany: Springer Verlag Berlin Heidelberg, p. 20-25, 52.
- Escribano, V.S., Lopez, E.F., Huidobro, P.S., Panizza, M., Resini, C., Gallardo-Amores, J.M., Busca, G., 2003, Characterization of manganese-gallium mixed oxide powders, *J. solid state Science* 5, p.1481-1489.
- Ghosh, P.K., Ahmed, Sk.F., Jana, S., Chattopadhyay, K.K., 2006, Photoluminescence and field emission properties of ZnS:Mn nanoparticles synthesized by rf magnetron sputtering techniqu., *J. optical Materials* 29, p. 1584-1590.
- 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.
- Hao, J., Lou, Z., Renaud, I., Cocivera M., 2004, Electroluminescence of europium-doped gallium oxide thin films, *J. Thin Solid Films* xx, p. xxx-xxx
- Hoefer, U., Frank, J., Fleisher, M., 2001, High temperature Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> gas sensors and SnO<sub>2</sub> gas sensors: a comparasion, *Sens.Actuators B* 78, p. 6.
- Hosono, H., Ohta, H., Orita, M., Ueda, K, and Hirani, M., 2002, Frontier of transparent conductive oxide thin films, *Vacuum* 66, p. 419.
- Jian, W., Zhuang, J., Yang, W., Bai, Y., 2006, Improved photoluminescence of ZnS:Mn nanocrystals by microwave assisted growth of ZnS shell, *Journal of Luminescence* 126, p. 735-740.
- Kim, H.W. and Kim, N.H. 2004a, Growth of gallium oxide thin films on silicon by MOCVD method, *Material Sc. Eng.* B110, p. 34.
- Kim, H.W. and Kim, N.H., 2004b, Annealing effects on the properties of Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films grown on sapphire by MOCVD, *Appl. Surface Sci.* 230, p. 301.

- Lai, B.K. 2000. *DC Magnetron Sputtering of TiNi Thin Films*. Care Western Reserve University.1-10.
- Li, Y., Trinchi, A., Wlodarski, W., Galatsis, K., Kalantar-Zadeh, K., 2003, Investigation of the oxygen gas sensing performance of Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin films with different dopant, *J. Sensors and Actuator B* 93, p. 431-434.
- Maruly, I.D. 2007. Pengaruh Doping Unsur Eu terhadap Sifat Fisis Film Tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang Ditumbuhkan dengan Metode *dc magnetron Sputtering*. *Skripsi*. Semarang: FISIKA FMIPA UNNES, hal. 1-53.
- Marwoto, P., Sugianto dan Wiyanto. 2006. Pengaruh Kondisi Penumbuhan pada Sifat Film Tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Semarang: Lab. Fisika Material FMIPA Unnes
- Marwoto, P., Sugianto, Wiyanto. 2007. Doping Eu pada Film Tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang Ditumbuhkan dengan DC Magnetron Sputtering. Semarang: Lab. Fisika Material FMIPA UNNES
- 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.
- Miyata, T., Nakatami T., and Minami, T.,2000, Manganese activated galium oxide electroluminescence phosphor thin film prepared using various deposition methods, *Thin Solid Film* 373,145.
- Morkoc, H. 1999. *Nitride Semiconductors and Devices*. Berlin: Springer-verlag: 8-95.
- Ogita, M., Higo, K., Nakanishi, Y.,Hatanaka, Y.,2001, Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> thin film for oxigen sensor at high temperatur, *Appl. Surf. Sci.*175-176, p.721.
- Peyghambaryan, N., Koch, S.W., and Mysyrowics, A. 1993. *Introduction to Semiconductor Optics*. New Jersey: Prentice-Hall International Inc: 156-162
- Schroder, K.D. 1990. *Semiconductor Material and Device Characterization*. Canada: John Willey& Sons, Inc, p. 490-494.
- Schubert, E.F. 1993. *Doping in III – V Semiconductors*. New York: Cambridge University Press, p.59-60, 325-337.
- Singh, J. 1993. *Physics Semiconductor and Their Heterostructures*. Singapore. McGraw-Hill Inc:

- Singh, J. 1995. *Semiconductor Optoelectronics Physics and Technology*. New York: McGraw Hill Inc.
- Singh, V., Chakradhar, R.P.S., Rao, J.L., Kim, Dong-Kuk., 2007, Syntesis, characterization, photoluminescence and EPR investigation of Mn doped MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Phosphors, *J. Solid State Chem*, p. 1-8.
- Sjahid, N. 2005. Studi Penumbuhan Lapisan Tipis Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan Metode DC Magnetron Sputtering dan Karakterisasi Sifat Fisisnya (*Skripsi*). Semarang: FISIKA FMIPA UNNES, hal. 1-74.
- Smith, William F. 1993. *Foundations of Materials Science and Engineering*. New York. Mc-Graw-Hill Inc:
- 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.
- Straddling, R.A., and Klipstein, P.C. 1990. *Growth and Characterization of Semiconductor*. New York. Adam Hilger: 135-164.
- Sulastri, E. 2006. Studi Pengaruh Laju Alir Gas Argon dan Nitrogen terhadap Sifat Optik Film Tipis Gallium Nitrida yang Ditumbuhkan dengan Metode DC Magnetron Sputtering (*Skripsi*). Semarang: FISIKA FMIPA UNNES, hal. 1-55.
- Suryadi, Sudjatmoko, Tri Mardji Atmono. 2003. *Diktat Kuliah Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan*. Jogjakarta: Penerbit BATAN
- Sudjatmoko. 2003. *Teknologi sputtering (Diktat Kuliah Workshop Sputtering untuk Rekayasa Permukaan Bahan)*. Jogjakarta: Penerbit BATAN: 1-16
- Suryanarayana, C. and Norton, M.G. 1998. *X-Ray Diffraction A Practical Approach*. New York: Plenum Press: 5-14
- Tim Material. 2007. *Petunjuk Praktikum Deposisi Film Tipis dengan Teknik Dc Magnetron Sputtering*. Semarang: Lab. Fisika Material FMIPA Unnes
- 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 Commun.*127, .385.
- Wasa, K and Hayakawa, S. 1992. *Hand Book Of Sputtering Deposition Tecnology. Principles, Technology and Apllication.* Park Ridge. New Jersey. USA Noyes Publication. 11-75.
- Zolnai, Z., 2005, *Irradiation-Induced Crystal Defect in Silicon Carbide*, MTA MFA-BUTE DAP