

SIFAT OPTIK FILM TIPIS GaAs YANG DITUMBUHKAN DENGAN TEKNIK MOCVD VERTIKAL MENGGUNAKAN TMGa AND TDMAAs

Andi Suhandi^{1*}, Yuyu R. Tayubi¹ dan Pepen Arifin²

1. Prodi Fisika FPMIPA UPI, Jl. Dr. Setiabudhi No. 229, Bandung, 40154.

2. Prodi Fisika FMIPA ITB, Jl. Ganesha 10, Bandung

* e-mail: a_bakrie@yahoo.com

Abstrak

Telah dilakukan studi eksperimen untuk meneliti pengaruh penggunaan sumber metalorganik baru yakni trimethylgallium (TMGa) dan trisdimethylaminoarsenic (TDMAAs) yang dikombinasi dengan variasi temperatur penumbuhan terhadap sifat optik film tipis GaAs yang ditumbuhkan dengan teknik vertical-metalorganic chemical vapor depositions (MOCVD-Vertikal) di atas substrat SI-GaAs. Pengukuran *photoluminescence* pada suhu ruang (RT-PL) telah dilakukan untuk menginvestigasi sifat optik film tipis GaAs hasil penumbuhan. Puncak spektrum PL pada suhu ruang untuk film tipis GaAs di atas substrat SI-GaAs terjadi pada panjang gelombang eksitasi sekitar 8725 Å. Panjang gelombang eksitasi ini bersesuaian dengan nilai celah pita energi optik (*optical bandgap*, E_g) GaAs hasil penumbuhan sekitar 1,43 eV. Puncak intensitas spektrum PL nilainya bervariasi terhadap temperatur penumbuhan. Dalam rentang temperatur penumbuhan yang digunakan dalam studi ini, puncak intensitas spektrum PL tertinggi terjadi pada film tipis GaAs yang ditumbuhkan dengan temperatur 580°C. Temperatur penumbuhan optimum ini lebih kecil dibanding temperatur penumbuhan optimum untuk film tipis GaAs yang ditumbuhkan dengan menggunakan sumber-sumber metalorganik konvensional. Hasil ini menunjukkan keefektifan penggunaan TDMAAs dalam mereduksi temperatur untuk penumbuhan film tipis GaAs dengan teknik MOCVD-Vertikal.

Kata Kunci: Sifat Optik, Film Tipis GaAs, MOCVD Vertikal, Temperatur Penumbuhan

Abstract

Experimental studies to examine the effect of using the new metalorganic sources trimethylgallium (TMGa) and trisdimethylaminoarsenic (TDMAAs) in combination with variations in growth temperature on the optical properties of GaAs thin films are grown using a vertical - metalorganic chemical vapor depositions (vertical-MOCVD) technique on SI-GaAs substrate have been conducted. Photoluminescence measurements at room temperature (RT-PL) has been carried out to investigate the optical properties of grown GaAs thin films. PL spectrum peaks at room temperature for GaAs thin films on SI-GaAs substrate occurs at an excitation wavelength of about 8725 Å. This excitation wavelength corresponds to the value of the optical band gap (E_g) of grown GaAs around 1.43 eV. The peak intensity of the PL spectrum value varies with the growth temperature. In the range growth temperature used in this study, the highest peak intensity of the PL spectrum was for GaAs thin films grown by temperature 580°C. The optimum growth temperature is lower than the optimum growth temperature for GaAs thin films grown using conventional metalorganic sources. These results indicate the effectiveness of the use of TDMAAs in reducing the growth temperature for GaAs thin films by Vertical-MOCVD technique.

Keywords : Optical Properties , GaAs Thin Film , Vertical-MOCVD, Growth Temperature

1. Pendahuluan

GaAs dan paduan *ternary*-nya merupakan material yang sangat potensial untuk aplikasi divais elektronik maupun optoelektronik. Bahan GaAs memiliki struktur celah pita energi dengan transisi langsung (*direct bandgap*) yang besarnya sekitar 1,42 eV. Kondisi ini membuat material GaAs berpotensi memiliki efisiensi konversi energi paling tinggi dibanding dengan bahan lain ketika dibuat divais sel surya [1]. Dan karena bahan ini juga memiliki ketahanan radiasi yang tinggi, maka sel surya dari bahan GaAs telah mendominasi untuk pemakaian di ruang angkasa sebagai sumber energi bagi satelit-satelit[2]. Untuk aplikasi divais-divais kuantum, material ini juga sangat kompatibel dibentuk dalam struktur *hetero* dengan material lain. Struktur sumur kuantum berbasis GaAs

potensial untuk aplikasi laser yang dapat mengemisikan panjang gelombang IR (*infrared*). Sumur kuantum AlGaAs/GaAs/AlGaAs telah diaplikasikan pada divais laser yang dapat mengemisikan panjang gelombang 827 nm [3], sumur kuantum GaAs/GaAsSb/GaAs memiliki potensi untuk aplikasi laser dan fotodetektor yang dapat beroperasi pada daerah panjang gelombang 1,3 - 1,55 μm yang sangat dibutuhkan dalam sistem komunikasi yang menggunakan serat optik [4], sedangkan laser dengan struktur sumur kuantum InGaAs/GaAs dapat beroperasi pada panjang gelombang 1,2 μm [5]. Disamping itu bahan GaAs juga dapat menunjukkan sifat magnetik ketika didadah dengan unsur-unsur magnetik seperti Mn yang dapat diaplikasikan untuk divais spintronik. Bahan (GaAs:Mn) menunjukkan sifat magnetik dengan temperatur Currie (T_c) tertinggi sekitar 110

K [6]. Sperlattice GaMnAs/GaAs memiliki sifat feromagnetik dengan temperatur currie 60 K[7].

Dalam bentuk film tipis, bahan GaAs dapat ditumbuhkan dengan berbagai metode, seperti *Chemical Beam epitaxy* (CBE) [8], *Metalorganic Molecular Beam Epitaxy* (MOMBE) [9], *Molecular Beam Epitaxy* (MBE) [10], maupun *Metalorganic Chemical Vapour Deposition* (MOCVD) [11]. Berbagai sumber metalorganik yang biasa digunakan dalam penumbuhan film GaAs dengan metode MOCVD antara lain adalah TMGa dan TEGa sebagai sumber Ga (golongan III) dan TMAAs, TEAs, TBAs serta Arsine (AsH₃) sebagai sumber As (golongan V) [12].

Terdapat kemajuan yang begitu pesat dalam pengembangan sumber-sumber metalorganik baru untuk mengganti sumber-sumber metalorganik konvensional, terutama bahan-bahan hidrida golongan V yang sangat beracun seperti arsen (AsH₃). *Trisdimethylaminoarsenic* (TDMAAs) telah dilaporkan jauh lebih aman dibanding arsen. Temperatur dekomposisi bahan ini jauh lebih rendah dari temperatur dekomposisi arsen, ditambah lagi bahan ini memiliki tingkat kontaminasi karbon yang cukup rendah karena pada bahan ini tidak terdapat ikatan langsung antara As dengan C. Dengan menggunakan bahan TDMAAs, rentang temperatur penumbuhan dapat diperlebar hingga rentang 275-600°C. Temperatur dekomposisi dan nukleasi yang relatif rendah sangat menguntungkan untuk fabrikasi struktur nano dengan MOCVD [13]. TDMAAs dapat melepaskan atom-atom As pada temperatur yang cukup rendah (300-450°C) [14]. Hasil-hasil proses dekomposisi TDMAAs terdiri atas As, kelompok amino reaktif seperti N(CH₃)₂ dan aziridine (HN(CH₂)₂) serta atom-atom hidrogen. Kelompok amino yang sangat reaktif akan bereaksi dengan hidrokarbon reaktif yang lain (misalnya dari trimethylgallium TMGa atau dari triethylgallium TEGa) membentuk molekul-molekul *volatile* yang secara signifikan akan mereduksi kandungan ketakmurnian karbon yang terinkorporasi dalam film GaAs [9].

Untuk aplikasi piranti optoelektronik, film tipis semikonduktor harus memiliki sifat optik yang memadai. Salah satu sifat optik yang paling penting yang merupakan penciri material semikonduktor adalah celah pita energi optik (*optical bandgap* = Eg). Paper ini memaparkan sifat optik film tipis GaAs hasil penumbuhan dengan teknik MOCVD-Vertikal menggunakan sumber-sumber metalorganik TDMAAs dan TMGa dengan variasi pada temperatur penumbuhan. Dalam metode MOCVD, temperatur penumbuhan memegang peranan yang sangat penting karena sebagai suplai energi yang akan mengendalikan proses ikatan reaktan-reaktan pada permukaan substrat. Sifat optik yang ditinjau difokuskan pada nilai Eg hasil pengukuran spektrum *photoluminescence* (PL) pada temperatur ruang.

2. Metode Penelitian

Film tipis GaAs telah ditumbuhkan dengan metode MOCVD tipe vertikal pada basis tekanan reaksi sekitar 50 Torr. Melalui pipa-pipa *stainless-steel* reaktan-reaktan golongan III dan V dasarurkan secara terpisah, hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya reaksi parasitik. Sebagai gas pembawa digunakan hidrogen (H₂) yang sebelumnya telah dimurnikan dengan cara didifusikan melalui membran palladium. Untuk mengontrol tekanan uap sumber-sumber metalorganik, TMGa dan TDMAAs disimpan dalam *bubbler-bubbler* yang temperaturnya dikontrol secara ketat, TMGa dikontrol pada temperatur -10°C hingga -12°C, sedangkan TDMAAs pada temperatur 24°C.

Sebagai media tumbuh digunakan substrat *Semi-Insulating* GaAs (SI-GaAs) dengan orientasi (100). SI-GaAs dipilih sebagai substrat selain karena memiliki kecocokan parameter kisi dengan film GaAs yang ditumbuhkan juga sifat insulatingnya diperlukan pada saat karakterisasi sifat listriknya. Sebelum dipergunakan, terlebih dahulu substrat dibersihkan dari debu dan lemak dengan cara dicuci menggunakan aseton, metanol, dan DI-Water, masing-masing 10 menit. Selanjutnya dilakukan pengetsaan menggunakan larutan H₂SO₄ : H₂O₂ : DI-Water dengan perbandingan 3 : 1 : 1 selama 2 menit. Setelah itu dibilas kembali dengan DI-Water dan dikeringkan dengan cara menyemprotkan gas nitrogen, kemudian dengan segera substrat dimasukkan ke dalam tabung reaktor MOCVD agar terhindar dari oksidasi. Adapun parameter-parameter penumbuhan yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter penumbuhan film Tipis GaAs

Sampel	Temperatur penumbuhan	Rasio As/Ga	Dilusi H ₂ dan N ₂
#1	570°C	4,8	300 sccm
#2	580°C	4,8	300 sccm
#3	590°C	4,8	300 sccm

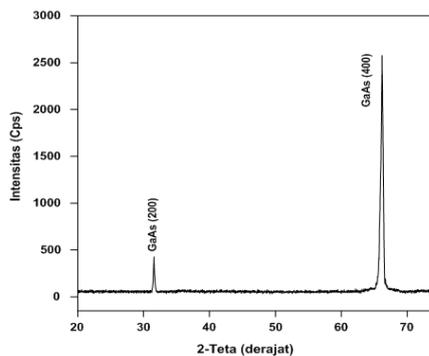
Rasio As/Ga dipilih tinggi (4,8) dengan tujuan mereduksi kontaminasi karbon (C) pada film GaAs yang bersumber dari TMGa. Pyrolysis TMGa akan menghasilkan radikal-radikal *methyl* yang dapat teradsorpsi pada permukaan substrat, dan jika spesies As jumlahnya kurang maka dekomposisi dari radikal-radikal ini akan menghasilkan spesies *carbene* (=CH₂) yang memiliki ikatan kuat pada permukaan, sebagai akibatnya karbon akan terinkorporasi pada film dan berperilaku sebagai dopan tipe-p. Untuk mereduksi tingkat inkorporasi karbon ini dapat dilakukan dengan cara memperbesar rasio As/Ga [15].

Efek temperatur penumbuhan terhadap kualitas kristal dan sifat optik film tipis GaAs hasil

penumbuhan diinvestigasi melalui karakterisasi struktur kristal menggunakan *X-Ray Diffractometer* (XRD) dan pengukuran nilai celah pita energi optik (E_g) menggunakan sistem *Photoluminescence* (PL).

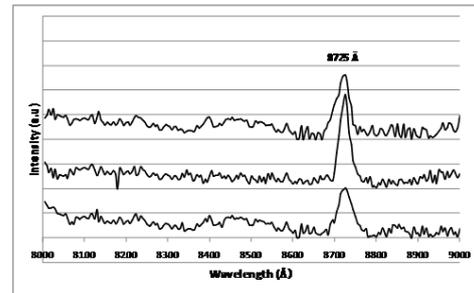
3. Hasil dan Pembahasan

Gambar 1 menunjukkan pola difraksi sinar-X untuk sampel film tipis GaAs yang ditumbuhkan di atas substrat SI-GaAs pada temperatur penumbuhan 580°C . Tampak bahwa film tipis GaAs yang ditumbuhkan dengan temperatur penumbuhan 580°C memiliki orientasi kristal tunggal yaitu pada bidang (200) dan (400) sesuai dengan orientasi kristal substrat SI-GaAs (100). Hal ini menunjukkan bahwa film tipis GaAs hasil penumbuhan merupakan lapisan yang epitaksial.



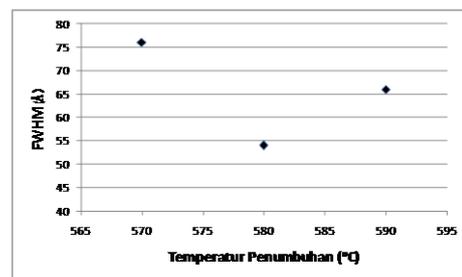
Gambar 1. Pola XRD film tipis GaAs yang ditumbuhkan pada temperatur 580°C

Gambar 2 menunjukkan spektrum *Photoluminescence* dari film tipis GaAs hasil pengukuran pada temperatur ruang (300K). Tampak bahwa puncak spektrum PL terjadi pada panjang gelombang 8725 \AA . Panjang gelombang ini bersesuaian dengan energi sebesar $1,43 \text{ eV}$. Hal ini menunjukkan bahwa film tipis GaAs hasil penumbuhan memiliki lebar celah pita energi sebesar $1,43 \text{ eV}$. Hasil ini sesuai dengan hasil-hasil pengukuran PL yang dilaporkan pada referensi [16]. Pada Gambar 2 tampak bahwa puncak intensitas spektrum PL meningkat ketika temperatur penumbuhan ditingkatkan dari 570°C menjadi 580°C , dan menurun kembali ketika temperatur penumbuhan ditingkatkan lagi menjadi 590°C . Hal ini menunjukkan bahwa terdapat temperatur penumbuhan optimum untuk menghasilkan puncak intensitas spektrum PL film tipis GaAs yang ditumbuhkan dengan MOCVD vertikal menggunakan sumber-sumber TMGa dan TDMAAs yaitu 580°C .



Gambar 2. Spektrum PL pada temperatur ruang untuk film tipis GaAs yang ditumbuhkan pada temperatur penumbuhan 570°C , 580°C dan 590°C

Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan software *Macrocal Origin*, diperoleh nilai *Full Width at Half Maximum* (FWHM) untuk setiap puncak intensitas spektrum PL untuk setiap temperatur penumbuhan seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Tampak bahwa nilai FWHM puncak intensitas spektrum PL nilainya menurun ketika temperatur deposisi ditingkatkan dari 570°C menjadi 580°C , dan meningkat kembali ketika temperatur penumbuhan ditingkatkan lagi menjadi 590°C . Hal ini menunjukkan bahwa terdapat temperatur penumbuhan optimum untuk penumbuhan film tipis GaAs dengan teknik MOCVD-Vertikal. Temperatur optimum ini lebih rendah dibanding dengan temperatur optimum penumbuhan film tipis GaAs dengan teknik MOCVD menggunakan sumber-sumber metalorganik konvensional seperti arsine (AsH_3), TEAs maupun TMAAs. Ini menunjukkan keefektifan penggunaan TDMAAs dalam mereduksi temperatur penumbuhan film tipis GaAs dengan teknik MOCVD-Vertikal.



Gambar 3. FWHM Spektrum *Photoluminescence* (PL) untuk Film Tipis GaAs Yang Ditumbuhkan pada Temperatur 570°C , 580°C dan 590°C

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran spektrum *Photoluminescence* (PL) pada suhu ruang diperoleh nilai celah pita energi optik (E_g) film tipis GaAs hasil penumbuhan MOCVD-Vertikal sekitar $1,43$

eV. Nilai Eg sebesar ini cukup memadai untuk film tipis GaAs. Kualitas kristal film tipis GaAs meningkat ketika temperatur penumbuhan ditingkatkan dari 570°C menjadi 580°C dan menurun kembali ketika temperatur penumbuhan ditingkatkan lagi menjadi 590°C. Menunjukkan bahwa terdapat temperatur penumbuhan optimum untuk menumbuhkan film tipis GaAs dengan teknik MOCVD-Vertikal. Temperatur optimum ini lebih rendah dibanding penggunaan sumber-sumber metalorganik konvensional seperti arsine (AsH₃), TEAs maupun TMAAs. Ini menunjukkan keefektifan penggunaan TDMAAs dalam mereduksi temperatur penumbuhan film tipis GaAs dengan teknik MOCVD-Vertikal.

Daftar Acuan

- [1] Gerardo L. Araujo, Compound Semiconductor Solar Cells, dalam Antonio Luque, Solar Cells and Optics for Photovoltaic Concentration, IOP Publishing Ltd, England, 1989.
- [2] M. Meyer and R. A. Metzger, The Commercial Satellite Industry Convert to Compound Semiconductor Solar Cells, Compound Semiconductor, Nov/Dec. 1996.
- [3] A. J. Stecki, P. Chen, X. Cao, H. E. Jackson, M. Kumar, J. T. Boyd, GaAs quantum well distributed Bragg reflection laser with AlGaAs/GaAs superlattice gratings fabricated by focused ion beam mixing, Appl. Phys. Lett. 67(2), 10, 1995.
- [4] D. S. Jiang, L. F. Bian, X. G. Liang, K. Chang, B. Q. Sun, S. Johnson, Y. H. Zhang, Structural and optical properties of GaAsSb/GaAs heterostructure quantum wells, Journal of Crystal Growth 268, 2004, 336 - 341.
- [5] T. K. Sharma, M. Zorn, F. Bugge, R. Huselwede, G. Elbert, M. Weyers, High-Power Highly Strained InGaAs Quantum Well Lasers Operating at 1,2 μm , IEEE Photonics Technology Letters, vol. 14, no. 7, 2002.
- [6] H. Onno, A. Shen, F. Matsukura, A. Oiwa, A. Endo, S. Katsumoto, and Y. Iye, Appl. Phys. Lett. 69, 363 (1996).
- [7] J. Sadowski, R. Mathieu, P. Svedlindh, M. Karlsteen, J. Kanski, Y. Fu, J. T. Domagala, W. Szuskiewicz, B. Hennion, D. K. Maude, R. Airey, G. Hill, Ferromagnetic GaMnAs/GaAs superlattices-MBE growth and magnetic properties, Thin Solid Film 412 (2002) 122-128.
- [8] N. Putz, H. Heinecke, M. Heyen, P. Balk, M. Weyers, H. Luth, J. Crystal Growth, 1986, 74, 292.
- [9] D. Marx, H. Asahi, X. F. Liu, M. Higashiwaki, A. B. Villaflor, K. Miki, K. Yamamoto, S. Gonda, S. Shimomura, S. Hiyamizu, Low temperature etching and improved morphology of GaAs grown by metalorganic molecular beam epitaxy using trisdimethylaminoarsenic and triethylgallium, Journal of Crystal Growth 150 (1995) 551-556.
- [10] T. Nishinaga, A. Yamashiki, Recent understanding of elementary growth processes in MBE of GaAs, Thin Solid film, 343-344 (1999) 495-499.
- [11] S. P. Watkins, G. Haacke, Appl. Phys. Lett., 1991, 59, 2263.
- [12] A. C. Jones, P. O'Brien, CVD of Compound Semiconductors, VCH, 1997.
- [13] H. Kuramochi, J. Cui, M. Ozeki, H. Uchida, H. Akinaga, H. Yoshida, N. Sanada, Y. Fukuda, Decomposition of TDMAAs and As Nucleation on GaAs (001)-2x4 at Low temperature, Appl. Phys. Lett., vol 81(1), 2002, 132-134.
- [14] K. Yamamoto, H. Asahi, T. Hayashi, K. Hidaka, S. Gonda, Selective area etching of III-V semiconductors using TDMAAs and TDMASb in metalorganic molecular beam epitaxy chamber, Journal of Crystal Growth 175/176 (1997) 1236-1241.
- [15] C. R. Abernathy, S. J. Pearton, F. A. Baiocchi, T. Ambrose, A. S. Jordan, D. A. Bohling, G. T. Muhr, J. Crystal Growth 1991, 110, 547.
- [16] O. Madelung, Semiconductors-Basic Data, 2nd revised edition, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 1996.