

KARAKTERISTIK FILM TIPIS GaAs YANG DITUMBUHKAN DENGAN METODE MOCVD MENGGUNAKAN SUMBER METALORGANIK BARU TDMAAs (*Trisdimethylaminoarsenic*)

A. Suhandi^{1,3)}, H. Sutanto^{2,3)}, P. Arifin³⁾, M. Budiman³⁾, dan M. Barmawi³⁾

- 1) Jurusan fisika FPMIPA UPI Bandung
- 2) Jurusan fisika FMIPA UNDIP Semarang
- 3) Lab. FISMATEL Departemen Fisika ITB
andisuhandi@upi.edu

Abstrak

Film tipis GaAs telah berhasil ditumbuhkan dengan metode MOCVD (*Metalorganic Chemical Vapour Deposition*) di atas substrat SI-GaAs menggunakan sumber metalorganik golongan V baru TDMAAs dan sumber golongan III konvensional TMGa. Karakteristik film sangat bergantung pada temperatur penumbuhan. Kualitas paling baik terjadi pada film yang ditumbuhkan dengan temperatur penumbuhan 580°C, ketika parameter penumbuhan yang lainnya ditetapkan sebagai berikut : rasio V/III sekitar 4,8, tekanan reaktor sekitar 50 torr, dan dilusi N₂ dan H₂ masing-masing sekitar 300 sccm. Dari hasil karakterisasi XRD menunjukkan bahwa film GaAs yang ditumbuhkan dengan temperatur penumbuhan 580°C merupakan lapisan epitaksial dan memiliki orientasi kristal tunggal yaitu pada bidang (100) dengan nilai FWHM sekitar 0,28°. Selanjutnya dari hasil pengukuran efek Hall pada T=300K menunjukkan bahwa film GaAs tersebut merupakan semikonduktor bertipe-p dengan nilai mobilitas hall dan konsentrasi pembawa muatan berturut-turut sekitar 346 cm²/V.s dan 3.17 x 10¹⁷ cm⁻³. Sedangkan dari hasil pengukuran PL menunjukkan bahwa film GaAs memiliki celah pita energi sekitar 1,42 eV.

Kata kunci : *Film tipis GaAs, MOCVD, TDMAAs.*

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]. Di laboratorium kami penelitian bahan GaAs diarahkan pada pengembangan bahan-bahan paduan *ternary* yang berbasiskan GaAs seperti GaAsSb dan GaAsN untuk aplikasi divais-divais optoelektronik yang dapat bekerja pada daerah NIR (*near infrared*).

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 TMAs, TEAs, TBAs serta Arsine (AsH_3) 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 (AsH_3). *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 $N(CH_3)_2$ dan aziridine ($HN(CH_2)_2$) 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].

Dalam paper ini dilaporkan karakteristik film tipis GaAs yang ditumbuhkan dengan metode 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. Karakteristik film tipis GaAs yang dilaporkan merupakan hasil-hasil investigasi terhadap struktur kekristalan, karakteristik listrik serta karakteristik optiknya.

EKSPERIMEN

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 dasalurkan secara terpisah, hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya reaksi parasitik. Sebagai gas pembawa digunakan hidrogen (H_2) 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, juga sifat insulatornya diperlukan untuk pengukuran efek Hall. 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 pengetasaan menggunakan larutan $H_2SO_4 : H_2O_2 : DI\text{-Water}$ 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 dimasukkan ke dalam reaktor supaya terhindar dari oksidasi.

Adapun parameter-parameter penumbuhan yang digunakan ditunjukkan dalam tabel 1.

Tabel 1. Parameter penumbuhan film Tipis GaAs

Sampel	Temperatur penumbuhan	Rasio As/Ga	Dilusi H_2 dan N_2
#1	560°C	4,8	300 sccm
#2	570°C	4,8	300 sccm
#3	580°C	4,8	300 sccm
#4	590°C	4,8	300 sccm

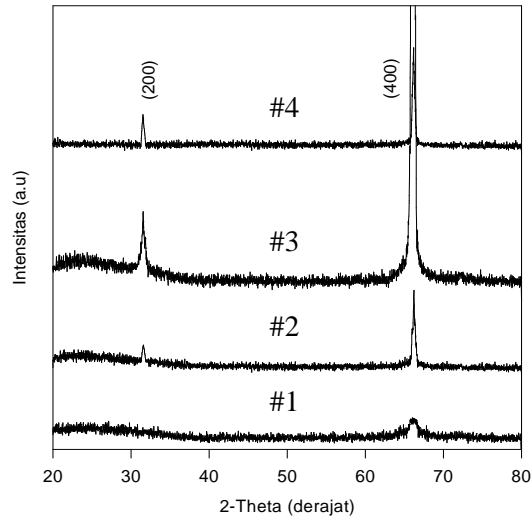
Rasio As/Ga dipilih tinggi (4,8) dengan tujuan mereduksi kontaminasi karbon (C) pada film GaAs yang bersumber dari TMGa. Pyrolisis TMGa akan menghasilkan radikal-radikal *methyl* yang dapat teradsorpsi pada permukaan substrat, dan jika spesies As jumlahnya kurang maka dekomposisi dari radikal-radikal ini akan menghasilkan spesies *carbene* ($=CH_2$) 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 film tipis GaAs yang dihasilkan, diinvestigasi melalui karakteristik kekristaklan, sifat listrik dan sifat optiknya. Struktur kristal film dikarakterisasi menggunakan *X-Ray*

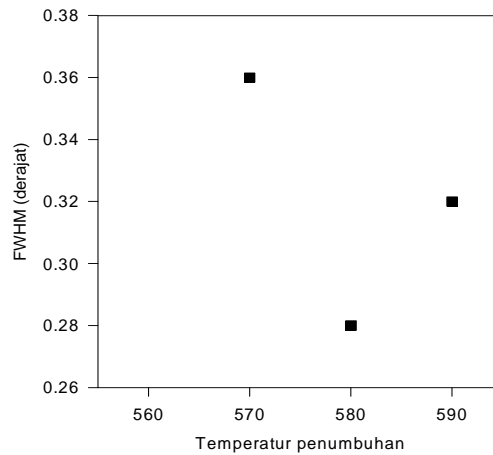
Diffractionmeter (XRD), sifat listrik dikarakterisasi menggunakan efek Hall Van der Pauw, dan sifat optik dikarakterisasi menggunakan *Photoluminescence* (PL). Dari hasil berbagai karakterisasi ini dapat ditentukan temperatur penumbuhan yang paling tepat untuk menumbuhkan film tipis GaAs dihubungkan dengan parameter-parameter penumbuhan yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 1 menunjukkan pola difraksi sinar-X dari setiap sampel film tipis GaAs yang dihasilkan. Tampak bahwa film tipis GaAs yang ditumbuhkan dengan temperatur penumbuhan 560°C (sampel #1) memiliki struktur amorf sedangkan puncak bidang (400) yang muncul merupakan puncak dari substrat SI-GaAs. Hal ini terjadi akibat temperatur penumbuhan terlalu rendah, tidak cukup memberi energi untuk pembentukan kristal yang sempurna, periodisitas kristal hanya terjadi pada jangkauan pendek membentuk struktur amorf. Sedangkan film tipis GaAs yang lainnya, memiliki orientasi kristal tunggal yaitu pada bidang (200) dan (400) sesuai dengan orientasi kristal dari substrat SI-GaAs, hal ini menunjukkan lapisan yang ditumbuhkan merupakan lapisan yang epitaksial. Perbedaan diantara ketiga sampel GaAs adalah pada tingginya intensitas difraksi, intensitas difraksi tertinggi dimiliki oleh film tipis GaAs yang ditumbuhkan dengan temperatur penumbuhan 580°C . Hal ini menunjukkan bahwa film GaAs yang ditumbuhkan dengan temperatur penumbuhan 580°C memiliki kualitas kristal yang paling baik, karena semakin tinggi puncak intensitas difraksi menunjukkan semakin banyaknya jumlah bidang pendifraksi dalam orientasi bidang yang sama. Dengan kata lain orientasi bidang kristal dalam film semakin seragam. Kualitas ini juga dapat ditinjau dari nilai FWHM (*full width at half maximum*) puncak orientasi, dimana film tipis GaAs yang ditumbuhkan dengan temperatur 580°C memiliki nilai FWHM yang paling kecil yaitu sekitar $0,28^{\circ}$ untuk orientasi bidang (200) seperti terlihat pada gambar 2.



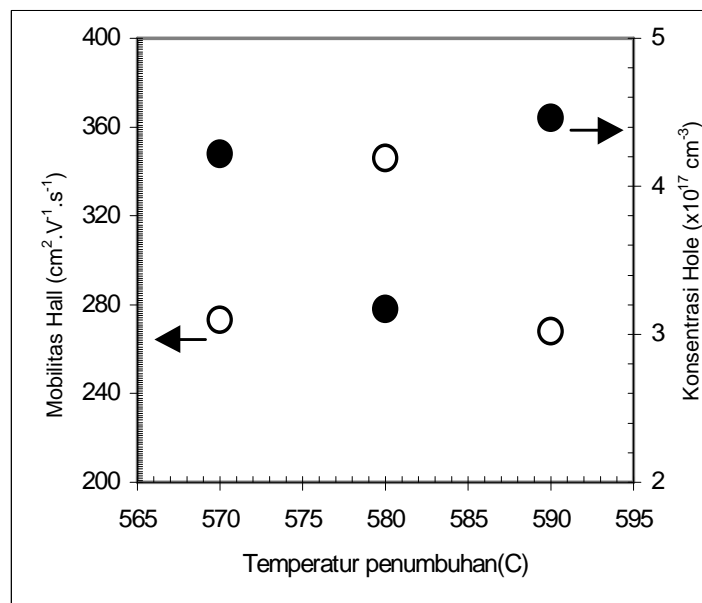
Gambar 1. Pola XRD film tipis GaAs yang ditumbuhkan pada; #1 : 560°C, #2 : 570°C, #3 : 580°C dan #4 : 590°



Gambar 2. Grafik fungsi FWHM bidang (200) terhadap temperatur penumbuhan

Gambar 3 menunjukkan karakteristik listrik film tipis GaAs hasil pengukuran efek Hall Van der Pauw pada temperatur 300 K. Film tipis GaAs

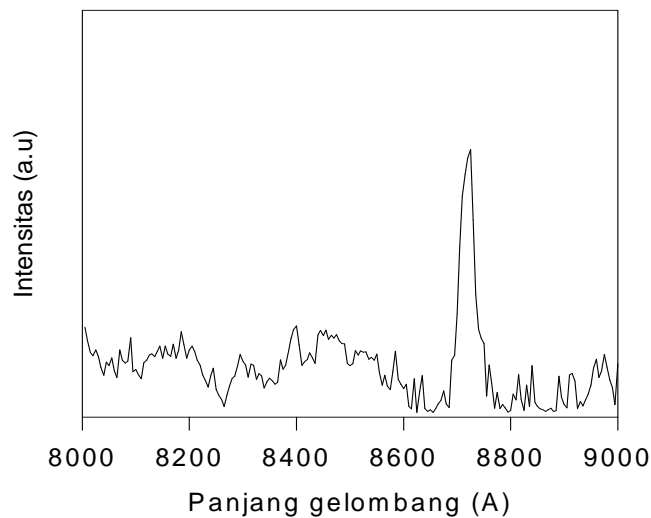
yang terbentuk merupakan semikonduktor bertipe-p. Sebagaimana diungkapkan di depan bahwa tipe semikonduktor ini terbentuk akibat adanya kontaminasi karbon (dopan tipe-p) yang muncul dari sumber TMGa, yang pada struktur ikatan kimianya terdapat ikatan langsung antara C dan Ga. Nilai mobilitas hall berbeda untuk ketiga sampel, nilai mobilitas paling tinggi yang dapat dicapai adalah sekitar $346 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ untuk film GaAs yang ditumbuhkan dengan temperatur penumbuhan 580°C , dengan konsentrasi pembawa muatan (*hole*) sekitar $3.17 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$. Nilai mobilitas ini masih lebih rendah dari potensi yang dapat dicapai. Hal ini boleh jadi diakibatkan oleh morfologi film GaAs yang masih kurang baik sehingga resistivitas film juga cukup besar.



Gambar 3. Kebergantungan karakteristik listrik film tipis GaAs terhadap temperatur penumbuhan

Gambar 4. menunjukkan karakteristik optik dari film GaAs yang ditumbuhkan dengan temperatur penumbuhan 580°C yang diperoleh dari pengukuran PL pada 300 K. Puncak intensitas PL terjadi pada panjang gelombang 8725 \AA , atau setara dengan energi $1,42 \text{ eV}$. Hasil pengukuran ini menunjukkan

bahwa film GaAs yang ditumbuhkan memiliki celah pita energi optik (*optical bandgap*) sekitar 1,42 eV. Nilai ini sesuai dengan yang tertera dalam berbagai literatur. [16].



Gambar 4. *Photoluminescence* film tipis GaAs yang ditumbuhkan dengan temperatur penumbuhan 580°C

KESIMPULAN

Karakteristik film tipis GaAs yang ditumbuhkan dengan metode MOCVD sangat ditentukan oleh temperatur penumbuhan. Temperatur yang terlalu rendah menyebabkan film yang ditumbuhkan memiliki struktur *amorf*, sedangkan temperatur yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya desorpsi atom-atom Ga dari permukaan substrat. Film tipis GaAs dengan kualitas yang cukup baik terjadi pada temperatur penumbuhan 580°C, ketika parameter penumbuhan yang lainnya ditetapkan sebagai berikut : rasio V/III sekitar 4,8, tekanan reaktor sekitar 50 torr, dan dilusi N₂ dan H₂ masing-masing sekitar 300 sccm. Karakteristik film GaAs yang ditumbuhkan dengan temperatur penumbuhan 580°C antara lain; memiliki orientasi kristal tunggal pada bidang (100) dengan

nilai FWHM sekitar $0,28^\circ$, merupakan semikonduktor bertipe-p dengan nilai mobilitas hall dan konsentrasi pembawa muatan pada temperatur kamar berturut-turut sekitar $346 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ dan $3.17 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, serta memiliki celah pita energi sekitar 1,42 eV.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini didanai oleh proyek penelitian Hibah Pasca Angkatan I Tahun 2003 Kementrian Pendidikan Nasional Republik Indonesia.

REFERENSI

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.