

PENUMBUHAN FILM TIPIS GALLIUM-NITROGEN-ARSENIC DENGAN METODA METAL ORGANIC CHEMICAL VAPOR DEPOSITION

I. Hamidah^{1,2)}, P. Arifin²⁾, M. Budiman²⁾, and M. Barmawi²⁾

¹⁾ Physics Laboratory, Dept. of Mechanical Engineering, Indonesia University of Education
Jl. Dr. Setiabudi No. 207 Bandung 40154. Phone & Fax: 022-2020162

²⁾ Lab. For Electronic Material Physics, Dept. of Physics, Bandung Institut of Technology
Jl. Taman Sari No 10 Bandung 40132, Phone & Fax: 022-25118488
e-mail: idahamidah@upi.edu

Abstrak

Film tipis GaN_xAs_{1-x} telah berhasil ditumbuhkan dengan menggunakan metoda *metal organic chemical vapor deposition* (MOCVD), dengan source TMGa, DMHy, dan TDMAAs. Morfologi permukaan film tipis dipelajari dengan menggunakan metoda *scanning electron microscopy* (SEM). Pengukuran mobilitas dan konsentrasi pembawa muatan film tipis dilakukan dengan metoda efek Hall pada temperatur ruang. Kondisi optimum dari penumbuhan film tipis ini dicapai oleh film dengan temperatur penumbuhan 580°C, dengan laju penumbuhan sebesar 1,2 µm/jam, mobilitas 3380 cm²/Vs dan konsentrasi pembawa muatan 8,68 x 10¹⁰ cm⁻³.

Abstract

GaN_xAs_{1-x} thin films have been successfully grown by metal organic chemical vapor deposition method (MOCVD) using TMGa, DMHy, and TDMAAs sources. Surface morphology of GaN_xAs_{1-x} thin films were studied by *scanning electron microscopy* (SEM) method. Mobility and carrier concentration were measured by standard Hall-effect measurements at room temperature. The optimum condition was revealed by film grown at 580°C with growth rate of 1,2 µm/h, mobility of 3380 cm²/Vs and carrier concentration of 8,68 x 10¹⁰ cm⁻³.

Kata-kata kunci: GaN_xAs_{1-x}, SEM, Hall-effect, morfologi permukaan, laju penumbuhan, mobilitas, dan konsentrasi pembawa muatan.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan yang pesat dalam bidang teknologi, khususnya teknologi semikonduktor, dapat mempercepat penyebaran informasi, salah satu caranya melalui jaringan komunikasi serat optik. Untuk memasyarakatkan penggunaan komunikasi serat optik pada pemakai, biaya yang rendah, stabilitas pada perubahan temperatur yang tinggi dan beroperasi dengan kecepatan tinggi tentunya menjadi salah satu persyaratan dalam mengembangkan teknologi ini. Laser dari material Indium-Gallium-Arsenic-Phosfor (InGaAsP) yang digunakan untuk komunikasi serat optik menunjukkan adanya ketidakstabilan unjuk kerja pada perubahan temperatur tinggi [1]. Hal ini disebabkan oleh kecilnya *offset* pita konduksi pada material InGaAsP, sehingga untuk mengoperasikan laser dari material ini diperlukan divais-divais pendingin.

Beberapa tahun terakhir ini, beberapa grup peneliti telah mengembangkan material Gallium-

Nitrogen-Arsenic (GaN_xAs_{1-x}) untuk mengganti material InGaAsP, yang ditumbuhkan dengan metoda *metal-organic molecular beam epitaxy* (MOMBE) dan *metal-organic vapor phase epitaxy* (MOVPE). Pemilihan ini didasarkan pada sifat-sifat fisis GaN_xAs_{1-x}, diantaranya: memiliki kelengkungan celah pita energi yang besar yang meliputi emisi panjang gelombang dari daerah ultra violet sampai infra merah. Rentang emisi panjang gelombang yang besar ini akhirnya dapat membuat laser dari material GaN_xAs_{1-x} stabil beroperasi pada temperatur tinggi. Selain itu material GaN_xAs_{1-x} memiliki rentang celah pita energi yang besar yang dapat divariasikan dari celah pita energi GaAs (1,424 eV) sampai 1 eV atau lebih rendah tergantung dari stoichiometri N, yaitu x, dalam GaN_xAs_{1-x}. Semakin tinggi konsentrasi N, celah pita energi GaN_xAs_{1-x} akan semakin kecil. Semakin kecil celah pita energi, mobilitas pembawa muatan (elektron/*hole*) akan semakin besar. Dengan demikian divais yang menggunakan material GaN_xAs_{1-x} akan

dapat beroperasi dengan kecepatan tinggi. Sifat lain dari $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ adalah memiliki kelengkungan celah pita energi yang besar. Hasil perhitungan kelengkungan celah pita energi $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ [2] bersesuaian dengan hasil pengukuran yang dilakukan secara eksperimen [3].

Selain diaplikasikan pada laser, $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ juga dapat diaplikasikan pada divais optoelektronik yang lain seperti: *optical interconnections*, *fast switching system*, detektor dengan celah pita energi rendah, optoelektronik dalam daerah infra merah, phototransistor dan sel surya. Dengan menambahkan lapisan $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ pada sel surya, diharapkan bahwa efisiensi konversi sel surya dapat bertambah, [4]. Untuk sel surya dengan tipe sambungan p-i-n, maka $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ yang ditambahkan dapat berupa lapisan tipe-n dimana sifat konduktivitas tinggi dari $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ menjadi penentu dalam menaikkan efisiensi konversi sel surya tersebut.

II. EKSPERIMEN

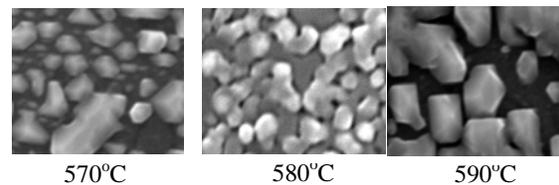
Film tipis $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ ditumbuhkan di atas substrat GaAs (001) dengan metoda MOCVD dengan prekursor (*source*) Trimethyl-gallium (TMGa), Trisdimethylamino-arsine (TDMAAs) dan Dimethyl-hydrasine (DMHy). Ketiga prekursor tersebut dimasukkan ke dalam reaktor dengan gas pembawa hidrogen (H_2) yang telah mengalami pemurnian melalui *hydrogen purifier*. Sebelum penumbuhan, substrat GaAs dibersihkan secara kimia dengan larutan $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O}$ dengan perbandingan 4:1:1 pada suhu 70°C selama 30 detik [4]. Setelah dimasukkan kedalam reaktor, substrat kemudian dibersihkan secara thermal pada suhu 650°C di bawah fluks nitrogen selama 10 menit untuk mendesorpsikan kotoran yang masih tersisa di permukaan. Film tipis $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ dengan ketebalan $1.2 - 2.4 \mu\text{m}$ ditumbuhkan pada rentang temperatur $570 - 590^\circ\text{C}$. Untuk memperoleh variasi dari konsentrasi N, perbandingan laju aliran DMHy dan divariasikan dari 0.6 - 1,

sedamngkan perbandingan laju aliran TDMAAs dan TMGa dijaga konstan ($V/\text{III} = 4.5$), berdasarkan kondisi optimum penumbuhan film tipis GaAs [5]. Selama penumbuhan, tekanan total pada reaktor dijaga konstan pada nilai 50 torr dan laju aliran *dilute gas* N_2 dan H_2 dijaga pada nilai masing-masing 300 sccm.

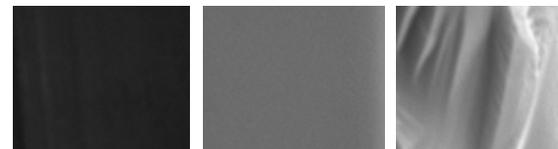
Untuk mempelajari morfologi permukaan dan ketebalan film, digunakan metoda *scanning electron microscopy* (SEM). Semua film kemudian dikarakterisasi dengan metoda *standard Hall-effect measurements* untuk dipelajari sifat-sifat listriknya.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Morfologi permukaan film tipis $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ dapat dilihat pada gambar 1a. Pada temperatur penumbuhan 570 dan 590°C terlihat bahwa pada film tersebut tidak terjadi koalisi antar butir kristal. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh energi kohesif antar butir kristal lebih besar dibandingkan dengan energi kohesif antara butir kristal dengan substrat. Sehingga modus penumbuhan yang terjadi adalah *island growth*. Pada temperatur penumbuhan 580°C dapat terlihat bahwa morfologi permukaan film tipis $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ adalah homogen. Koalasi antara butir kristal telah terjadi pada film tersebut dan modus penumbuhannya adalah *layer by layer*.

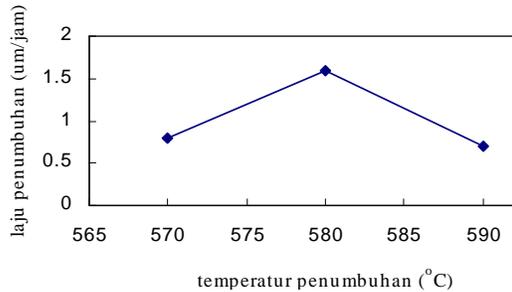


1(a) morfologi permukaan film

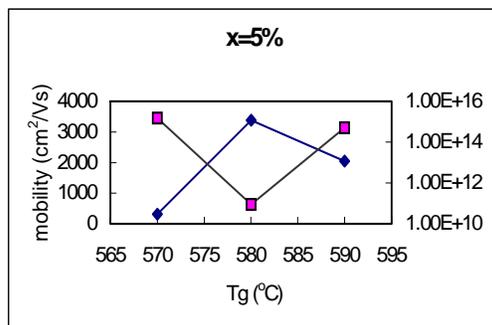


1(b) morfologi penampang film

Dari morfologi penampang film tipis $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ pada gambar 1b, kita dapat melihat bahwa ketebalan terbesar dan film yang homogen terjadi pada film dengan temperatur penumbuhan 580°C . Laju penumbuhan untuk setiap film ditunjukkan pada gambar 2, dengan laju penumbuhan terbesar mencapai $1,2 \mu\text{m/jam}$. Keadaan morfologi permukaan film mendukung hasil yang diperoleh pada pengukuran mobilitas dan konsentrasi pembawa muatan yang ditunjukkan pada gambar 3, dimana film yang memiliki koalisi antar butir kristal yang baik (homogen) akan memiliki mobilitas yang baik pula. Mobilitas terbesar dicapai oleh film dengan temperatur penumbuhan 580°C , yaitu sebesar $3380 \text{ cm}^2/\text{Vs}$.



Gambar 2. laju penumbuhan film tipis GaNAs sebagai fungsi temperatur penumbuhan



Gb. 3. Mobilitas dan konsentrasi pembawa muatan

IV. KESIMPULAN

Film tipis $\text{GaN}_x\text{As}_{1-x}$ telah berhasil ditumbuhkan dengan menggunakan metoda MOCVD, dengan source TMGa, DMHy, dan TDMAAs. Morfologi permukaan homogen dicapai oleh film dengan temperatur penumbuhan 580°C ,

dan film tersebut memiliki laju penumbuhan terbesar, $1,2 \mu\text{m/jam}$. Dari pengukuran efek Hall diperoleh bahwa mobilitas film dengan temperatur penumbuhan 580°C mencapai harga $3380 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ dengan konsentrasi pembawa muatan $8,68 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$.

Daftar Pustaka

- [1] N. Morooka, K. Uesugi, and I. Suemune, "Role of Indium on Nitrogen in GaNAs Grown by Metalorganic Molecular-Beam Epitaxy", *Jpn. J. Appl. Phys.* **38**, L1309-L1311, (1999).
- [2] S.H. Wei dan A. Zunger, "Giant and Composition-Dependent Optical Bowing Coefficient in GaAsN Alloys", *Physical Review Letter* **76**, 664– 667, (1996).
- [3] W.G. Bi dan C.W. Tu: *Appl. Physic Lett.* **70** (1997), 1609 – 1610
- [4] S. Goto, M. Yamada, and Y. Nomura, Surface Cleaning of Si-Doped/Undoped GaAs Substrate, *Jpn. J. Appl. Phys.* **34** No. 9B, L1180-L1183, (1995)
- [5] I. Hamidah, N. Yuningsih, P. Arifin, M. Budiman, and M. Barmawi, "Study of Electronic and Physical Properties Grown by MOCVD Using Trisdimethylamino Arsenic", *2002 Annual Physics seminar Proc.*, (2002).
- [6] J. Sik, M. Schubert, G. Leibiger, V. Gottschalch, and G. Wagner, "Band-gap energies, free carrier effects, and phonon modes in strained GaNAs/GaAs and GaNAs/InAs/GaAs superlattice heterostructures measured by spectroscopic ellipsometry" *Journal of Appl. Phys.* **89** No. 1, 294-305, (2001).