

STUDI PENGARUH KONSENTRASI AL PADA STRUKTUR KRISTAL DAN MORFOLOGI FILM TIPIS $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Si}(111)$ YANG DITUMBUHKAN DENGAN TEKNIK PA-MOCVD

Heri Sutanto^{1,2}, Agus Subagio^{1,2}, Edy Supriyanto^{1,3}, Pepen Arifin¹, Sukirno¹, Maman Budiman¹ dan Moehamad Barmawi¹

¹Laboratorium Fisika Material Elektronik - ITB

Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

²Jurusan Fisika FMIPA - UNDIP

Jl. Prof. H. Soedarto, SH Tembalang, Semarang 50275

³Jurusan Fisika, Universitas Negeri Jember

Kampus Tegalboto, Jl. Kalimantan III/24, Jember 68121

ABSTRAK

STUDI PENGARUH KONSENTRASI AL PADA STRUKTUR KRISTAL DAN MORFOLOGI FILM TIPIS $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Si}(111)$ YANG DITUMBUHKAN DENGAN TEKNIK PA-MOCVD. Film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ telah ditumbuhkan di atas substrat Si tipe-p dengan menggunakan teknik PA-MOCVD. Film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ditumbuhkan dengan parameter-parameter: suhu substrat, laju alir N_2 , TMGa dan TMAI berturut-turut sebesar 700 °C; 90 sccm; 0,1 sccm dan 0,01sccm hingga 0,04 sccm. Film polikristal $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang ditumbuhkan mempunyai struktur heksagonal dengan bidang difraksi dominan (1010) dan (1011) hingga konsentrasi Al sebesar 6,78%. Diperoleh nilai kekasaran permukaan film dari pengukuran SPM pada range 11,44 nm sampai dengan 27,20 nm. Morfologi permukaan film semakin halus dengan peningkatan konsentrasi Al pada film. Penurunan nilai konstanta kisi hasil pengujian XRD terjadi karena kekosongan nitrogen pada film. Peningkatan konsentrasi Al pada film menyebabkan penurunan laju penumbuhan film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang terbentuk.

Kata kunci : PA-MOCVD, Film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$, struktur kristal, morfologi permukaan

ABSTRACT

STUDY OF EFFECT AL CONCENTRATIONS ON THE CRYSTALLINE STRUCTURES AND MORPHOLOGY PROPERTIES OF $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Si}(111)$ THIN FILMS GROWN BY PA-MOCVD. $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ thin films have been deposited on p-type Si substrate by PA-MOCVD technique. The growth of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ thin films was carried out of substrate temperature; N_2 ; TMGa and TMAI flow rate of 700 °C; 90 sccm, 0.1 sccm and 0.01 to 0.04 sccm, respectively. The grown polycrystalline $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ thin films have hexagonal structure with the dominant diffraction plane at (1010) and (1011) up to 6.78% Al concentrations. The roughness value of film surface morphology has been determined by SPM to be in the range of 11.44–27.20 nm. The higher of Al concentrations caused the film have smaller grain size and smoother surface. The value of lattice constant by XRD measurement decreased due to the nitrogen vacancy on the films. The growth rate of $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ thin films decreased with increasing Al concentrations.

Key words : PA-MOCVD, $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ thin films, crystalline structures, surface morphology

PENDAHULUAN

Saat ini, semikonduktor III-nitrida khususnya $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang menghasilkan dioda pemancar cahaya UV sangat diharapkan karena dapat digunakan untuk keperluan sistem penyimpanan data, detektor, kontrol mesin, deteksi panas pada persenjataan militer dan pembasmi bakteri berbahaya [1,2]. Material semikonduktor berbasis galium nitrida (GaN) mempunyai sifat unik yaitu celah pita energi lebar, konduktivitas termal, potensial *breakdown* dan mobilitas elektron yang tinggi juga ideal untuk aplikasi divais elektronika yang

bekerja pada daya dan suhu tinggi [3]. GaN dan $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ telah dimanfaatkan dengan membuat struktur hetero untuk aplikasi divais penguat gelombang mikro seperti pada *High Electron Mobility Transistors (HEMTs)* dan *Heterostructure Field Effect Transistors (HFETs)* [4].

Umumnya film tipis GaN dan $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ditumbuhkan pada substrat *sapphire* dan SiC. Namun keduanya sulit diperoleh dalam ukuran yang besar. Penumbuhan film tipis GaN dan struktur hetero

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{GaN}$ pada substrat silikon (Si) sangat diharapkan oleh kalangan industri elektronik untuk aplikasi rangkaian terpadu skala besar. Selain dapat tersedia dalam ukuran yang besar, substrat Si memiliki sifat listrik dan konduktivitas termal yang baik dan murah [5]. Namun penumbuhan kristal GaN atau $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ di atas substrat Si tidak mudah dilakukan karena terdapat ketidakcocokan konstanta kisi sebesar 17% dan perbedaan koefisien ekspansi termal sebesar 56% [6,7]. Besarnya ketidakcocokan kisi dan koefisien ekspansi termal dapat menimbulkan *strain* dan dislokasi dari film tipis yang ditumbuhkan sehingga menyebabkan cacat struktural.

Cacat kristal disini akan berperan sebagai pusat hamburan sehingga berkas sinar-X yang mengenai sampel akan di difraksikan ke segala arah yang akan menghasilkan banyak bidang hamburan. Dalam penumbuhan film tipis GaN, nitrogen lebih sukar bereaksi dibanding galium menyebabkan film yang terbentuk cenderung mengalami kekosongan N, sehingga GaN tanpa *doping* cenderung bertipe-n. Kekosongan nitrogen ini merupakan cacat utama pada GaN yang bertindak sebagai pusat-pusat penghambur dan sebagai donor yang dapat menyebabkan penurunan mobilitas elektron dan pengerutan konstanta kisi film.

Kesulitan lain dalam penumbuhan film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang mempunyai kualitas kristal yang baik dengan konsentrasi Al yang tinggi ($\text{Al}>40\%$) adalah adanya reaksi parasitik antara TMAI memungkinkan terbentuknya ikatan NH_2 atau NH_3 dalam fase uap yang menyebabkan kualitas (morfologi dan struktur kristal) film kurang bagus [8,9]. Berbagai usaha telah banyak dilakukan oleh para peneliti untuk mengatasi kekurangan dari penggunaan substrat Si antara lain dengan menumbuhkan lapisan penyangga seperti 3C-SiC, AlN, GaAS, AlAs, Si_3N_4 dan GaN sebelum film tipis GaN. Lapisan penyangga (*buffer layer*) tersebut ditumbuhkan pada suhu rendah dan diharapkan dapat mengurangi energi antar muka antara substrat dengan film [2].

Metode penumbuhan *Metalorganic Chemical Vapor Deposition (MOCVD)* adalah salah satu metode penumbuhan yang memiliki beberapa keunggulan dalam bidang teknologi pembuatan film tipis. Pengontrolan terhadap aliran bahan yang diuapkan sebagai bahan prekursor dapat dilakukan dengan mudah dan akurat [10]. Untuk menjawab sebagian isu seperti yang diterangkan di atas, di dalam makalah ini penumbuhan film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ di atas substrat Si dilakukan dengan menggunakan teknik *Plasma Assisted-MOCVD (PA-MOCVD)* dengan gas N_2 sebagai sumber nitrogen reaktif yang dibangkitkan oleh gelombang mikro 2,45 GHz dan hasil uji karakteristik struktur kristal serta morfologinya dilaporkan.

METODE PERCOBAAN

Film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ditumbuhkan di atas substrat Si(111) dengan menggunakan sistem reaktor *PA-MOCVD*. Plasma aplikator (ASTeX AX.7300) tipe *downstream* yang beroperasi pada gelombang mikro 2,45 GHz dengan daya 200 Watt digunakan untuk menghasilkan radikal N dari gas N_2 . Sebelum digunakan, substrat Si(111) tipe-p dicuci dengan aseton, selanjutnya dengan metanol masing-masing selama 10 menit untuk menghilangkan hadirnya pengotor organik dipermukaan substrat. Selanjutnya substrat di *etsa* dengan larutan $\text{H}_2\text{SO}_4 : \text{H}_2\text{O}_2 : \text{H}_2\text{O} = 3:1:1$ dan larutan HF (2%) selama masing-masing 5 menit untuk menghilangkan lapisan silika (SiO_2) yang mungkin terjadi dipermukaan substrat akibat proses oksidasi. Setelah itu, substrat dibilas dengan *deionized water (DI-water)* dan dikeringkan dengan cara disemprot gas N_2 . Substrat ditempel dengan suatu pasta perak yang konduktif terhadap panas dipermukaan plat pemanas di dalam ruang penumbuhan. Pencucian substrat secara termal dilakukan dengan plasma hidrogen pada temperatur 650°C di dalam ruang penumbuhan.

Prekursor metal-organik yang digunakan adalah *trimethylgallium (TMGa)* dan *trimethylaluminum (TMAI)* yang berupa cairan disimpan di dalam tabung *stainless-steel (bubbler)*. Tekanan, suhu dan laju alir gas pembawa yang melalui *bubbler* dapat diatur dengan teliti. Gas pembawa yang digunakan sebagai alat transport prekursor metal-organik ke dalam reaktor adalah gas hidrogen dengan kemurnian 99,999%. Sebelum gas hidrogen dialirkan menuju *bubbler* terlebih dahulu dilewatkan melalui *purifier* yang terbuat dari sel palladium yang dipanaskan pada suhu 400 °C, untuk dimurnikan. Proses penumbuhan film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ diawali dengan penumbuhan lapisan penyangga GaN pada temperatur 500 °C dengan mengalirkan *TMGa* dengan laju 0,09 sccm dan gas N_2 sebesar 90 sccm selama 10 menit hingga diperoleh ketebalan sekitar 25 nm.

Selanjutnya suhu substrat dinaikkan hingga 700 °C untuk penumbuhan film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ dengan mengalirkan *TMGa*, *TMAI* dan gas nitrogen yang masing-masing sebagai prekursor sumber Ga, Al dan N. Dalam penelitian ini laju sumber gas nitrogen sebesar 90 sccm, laju alir *TMGa* sebesar 0,1 sccm dan *TMAI* divariasikan dengan laju sebesar 0,01 sccm hingga 0,04 sccm dan penumbuhan dilakukan selama 2 jam. Proses penumbuhan diakhiri dengan tahap pendinginan menuju suhu ruang dengan laju pendinginan sebesar 300 °C/jam.

Film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang tumbuh selanjutnya dikarakterisasi. Untuk mengetahui persentasi masing-masing atom penyusun film dilakukan uji komposisi dengan menggunakan metode *Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)* (JEOL JSM-6360 LA). Ketebalan dan morfologi permukaan film dianalisa dari hasil potret *Scanning Electron Microscope (SEM)*

(JEOL JSM-6360 LA) dan *Scanning Probe Microscope* (SPM) (NT-MDT). Struktur kristal film ditentukan dari hasil uji *X-Ray Diffraction* (XRD) dengan menggunakan radiasi Cu K_α ($\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$) (Philips PW3710).

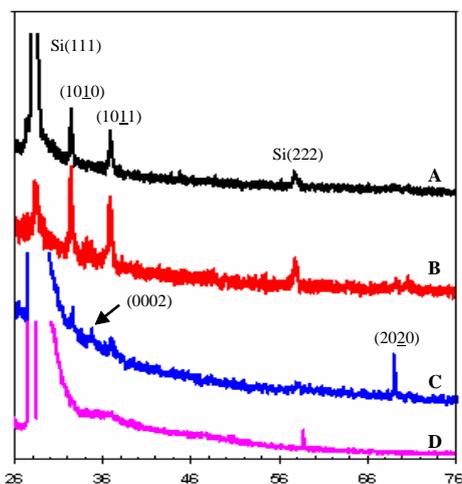
HASIL DAN PEMBAHASAN

Film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ditumbuhkan dengan parameter-parameter meliputi : suhu substrat sebesar $700 \text{ }^\circ\text{C}$, laju alir N_2 sebesar 90 sccm , *TMGa* sebesar $0,1 \text{ sccm}$ dan *TMAI* berturut-turut $0,01 \text{ sccm}$ (sampel A); $0,02 \text{ sccm}$ (sampel B); $0,03 \text{ sccm}$ (sampel C) hingga $0,04 \text{ sccm}$ (sampel D). Hasil pengukuran komposisi dari film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang telah ditumbuhkan dengan EDS terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi film $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ hasil pengukuran dengan EDS.

Sampel	Konsentrasi Al (%)	Konsentrasi Ga (%)	Konsentrasi N (%)
A	0,06	65,58	34,36
B	0,84	61,51	37,66
C	6,78	58,39	34,83
D	40,13	14,14	45,73

Hasil pengujian komposisi menunjukkan bahwa semua sampel film mempunyai konsentrasi nitrogen (N) yang masih rendah (<50%) atau bersifat kekosongan nitrogen dan hal ini umumnya terjadi pada deposisi material semikonduktor III-N (seperti GaN, AlN atau InN). Masih rendahnya konsentrasi nitrogen yang terjadi pada film diduga pada proses penumbuhan film terdapat reaksi parasitik antara N dengan prekursor *TMGa* dan/atau *TMAI* yang memungkinkan terbentuknya ikatan NH_2 atau NH_3 yang stabil pada temperatur $500 \text{ }^\circ\text{C}$. Hal ini disebabkan sumber prekursor *TMGa* dan *TMAI* sebagai akseptor elektron, sedangkan pasangan atom nitrogen berperan sebagai donor elektron.



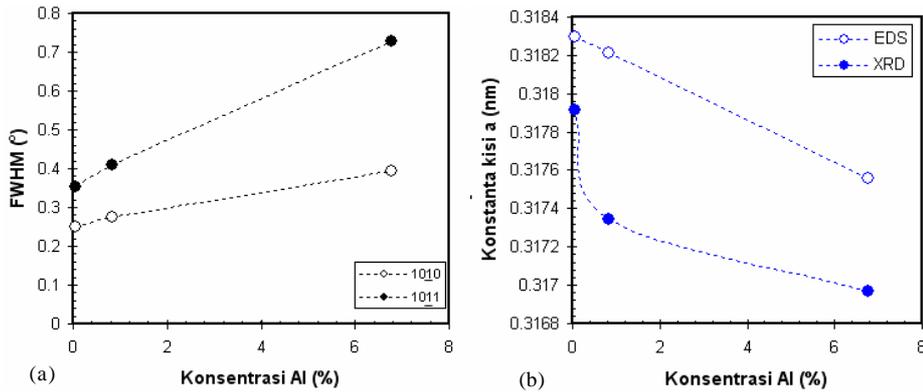
Gambar 1. Pola XRD film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Si}(111)$ dengan konsentrasi Al sebesar 0,06% (A); 0,84% (B); 6,78% (C) dan 40,13% (D).

Gambar 1 memperlihatkan pola difraksi sinar-X dari setiap sampel film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang dihasilkan. Film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ dengan konsentrasi Al sebesar 0,06 % (sampel A) mempunyai struktur kristal dengan puncak bidang difraksi $(10\bar{1}0)$ pada 2θ sebesar $32,51^\circ$ dan $(10\bar{1}1)$ pada 2θ sebesar $36,81^\circ$. Film dengan konsentrasi Al sebesar 0,84% (sampel B) mempunyai struktur kristal dengan puncak bidang difraksi $(10\bar{1}0)$ pada 2θ sebesar $32,57^\circ$; (0002) pada 2θ sebesar $34,71^\circ$ dan $(10\bar{1}1)$ pada 2θ sebesar $36,91^\circ$. Film dengan konsentrasi Al sebesar 6,78% (sampel C) mempunyai struktur kristal dengan puncak bidang difraksi $(10\bar{1}0)$ pada 2θ sebesar $32,61^\circ$; (0002) pada 2θ sebesar $35,13^\circ$; $(10\bar{1}1)$ pada 2θ sebesar $37,33^\circ$ dan $(20\bar{2}0)$ pada 2θ sebesar $68,83^\circ$. Sedangkan film dengan konsentrasi Al sebesar 40,13% (sampel D) mempunyai struktur amorf.

Hasil pengujian struktur dengan XRD menunjukkan bahwa film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang ditumbuhkan mempunyai kelompok ruang struktur heksagonal $P6_3mc$ (C_{6v}^4) dengan bidang dominan $(10\bar{1}0)$ dan $(10\bar{1}1)$ untuk ketiga sampel A, sampel B dan sampel C sedangkan sampel D tidak tampak adanya puncak difraksi dari film. Hasil ini menunjukkan bahwa film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang telah ditumbuhkan mempunyai struktur polikristal dan terlihat adanya pergeseran nilai sudut bidang difraksi 2θ sesuai dengan konsentrasi Al yang terdapat pada film.

Hasil pola XRD juga menunjukkan bahwa sampel A mempunyai kualitas kristal yang lebih baik dibandingkan dengan sampel B, sampel C dan sampel D dengan ditandai munculnya hanya 2 puncak bidang difraksi. Semakin banyak jumlah bidang difraksi menunjukkan semakin banyak batas butir kristal/*grain boundaries* yang terdapat pada film sehingga semakin banyak kemungkinan jumlah cacat kristal yang terjadi pada film. Sedangkan pada sampel D (konsentrasi Al= 40,13%) hasil XRD menunjukkan struktur amorf. Hal ini disebabkan semakin besar konsentrasi Al pada film semakin besar potensi terjadinya ikatan antara atom Al dengan atom O (oksigen) karena sifat Al yang mudah sekali menangkap atom O. Hal tersebut akan menyebabkan cacat kristal pada film berakibat pada kualitas kristal film yang ditumbuhkan semakin menurun.

Kualitas kristal dari material dapat diketahui juga dari nilai *FWHM* (*Full Width at Half Maximum*) dari puncak bidang difraksi, dimana semakin kecil nilai *FWHM* semakin baik kualitas kristal dari material tersebut. Gambar 2a memperlihatkan besarnya nilai *FWHM* dari puncak dominan bidang difraksi $(10\bar{1}0)$ dan $(10\bar{1}1)$ untuk ketiga sampel. Nilai *FWHM* tersebut ditentukan dengan cara mencocokkan (*fitting*) puncak pola difraksi bidang dengan persamaan *Lorentzian*. Nilai *FWHM* pada puncak bidang difraksi $(10\bar{1}0)$ dan $(10\bar{1}1)$ untuk sampel A, sampel B dan sampel C seperti terlihat pada Tabel 2.



Gambar 2. Grafik fungsi konsentrasi Al pada film Al_xGa_{1-x}N terhadap: (a) nilai FWHM bidang difraksi (1010), (1011) hasil fitting dengan persamaan Lorentzian dan (b) nilai konstanta kisi bidang a hasil perhitungan dari EDS dan XRD.

Tabel 2. Nilai FWHM dari puncak bidang difraksi (1010) dan (1011) hasil fitting dengan persamaan Lorentzian dari film Al_xGa_{1-x}N.

Konsentrasi Al (%)	FWHM (°) pada (1010)	FWHM (°) pada (1011)
0,06 (Sampel A)	0,24972	0,35451
0,84 (Sampel B)	0,27369	0,40896
6,78 (Sampel C)	0,39407	0,72795

Dari hasil tersebut terlihat bahwa semakin besar konsentrasi Al pada film Al_xGa_{1-x}N nilai FWHM dari kedua puncak bidang difraksi semakin besar yang menyatakan bahwa kualitas kristal film Al_xGa_{1-x}N semakin menurun dengan kenaikan konsentrasi Al. Hal ini disebabkan semakin besar kehadiran atom Al pada film semakin besar jumlah atom Ga yang digantikan, sehingga tingkat kompetisi pada kedua atom tersebut untuk berikatan dengan atom N juga semakin besar yang akibatnya akan merombak struktur kristal utama penyusun film yaitu GaN. Kompetisi yang terjadi ini dapat menciptakan terjadinya cacat kristal seperti dislokasi atau kekosongan atom tertentu yang akhirnya menurunkan kualitas kristal film. Disamping itu, besarnya ketidaksesuaian kisi antara lapisan penyangga GaN dengan film Al_xGa_{1-x}N dapat menimbulkan strain dan dislokasi sehingga menyebabkan cacat struktural. Semakin besar konsentrasi Al pada film semakin kecil nilai konstanta kisinya (Gambar 2b) menyebabkan semakin besar ketidaksesuaian kisi yang terjadi antara film Al_xGa_{1-x}N dengan lapisan penyangga GaN. Perhitungan nilai parameter kisi ditentukan dengan persamaan hubungan antara parameter kisi (a dan c) dengan indeks Miller (h k l) pada struktur heksagonal dari hasil XRD, yaitu [11]:

$$\sin^2 \theta = \frac{\lambda^2}{4a^2} \left[\frac{4}{3}(h^2 + hk + k^2) + \frac{l^2}{c^2} \right] \dots \dots \dots (1)$$

dengan θ adalah sudut difraksi; l adalah panjang gelombang sumber radiasi dari XRD; serta a dan c adalah konstanta kisi arah a dan c; h k l adalah indeks Miller.

Sedangkan perhitungan nilai konstanta kisi khususnya bidang a dari hasil EDS dengan

menggunakan hubungan Vegard's sebagai berikut [12]:

$$a(x) = x a_{\text{AlN}} + (1-x) a_{\text{GaN}} - d_a x(1-x) \dots \dots \dots (2)$$

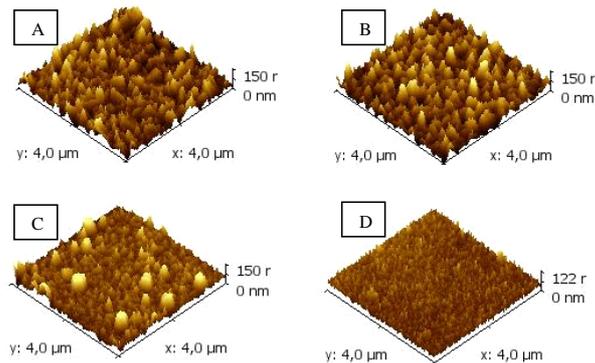
dengan x = fraksi molar Al; a_{AlN} = konstanta kisi bidang a AlN sebesar 0,3076 nm; a_{GaN} = konstanta kisi bidang a GaN sebesar 0,3183 nm dan d_a = parameter deviasi konstanta kisi bidang a = -0,04.

Hasil perhitungan konstanta kisi bidang a yang diambil pada bidang difraksi (1010) seperti terlihat pada Tabel 3. Terlihat bahwa semakin besar konsentrasi Al pada film Al_xGa_{1-x}N semakin kecil nilai konstanta kisinya. Semakin besar konsentrasi Al pada film akan menyebabkan semakin kecil bulir kristal yang terbentuk pada film (sesuai dengan literatur dimana nilai parameter kisi a AlN lebih kecil daripada GaN). Hasil perhitungan parameter kisi dari XRD mempunyai nilai yang lebih kecil dari hasil EDS (nilai ideal). Hasil ini menyatakan bahwa terjadi pengerutan konstanta kisi pada film hasil penumbuhan. Hal ini disebabkan karena cacat alami pada film yaitu kekosongan nitrogen yang dapat bertindak sebagai pembawa muatan (sesuai hasil pengujian EDS bahwa semua sampel bersifat kekosongan nitrogen).

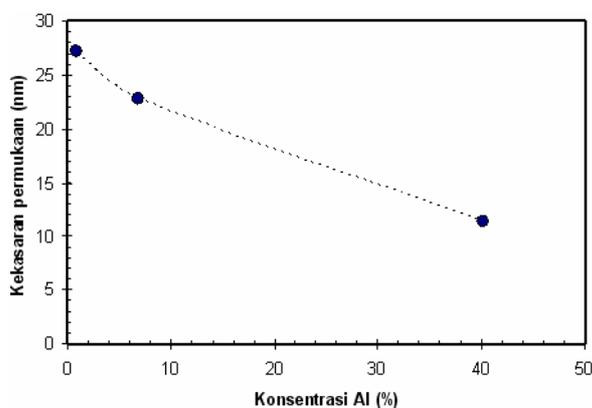
Tabel 3. Nilai konstanta kisi bidang a film Al_xGa_{1-x}N dari perhitungan hasil XRD dan EDS.

Konsentrasi Al (%)	Nilai a (nm) dari XRD	Nilai a (nm) dari EDS
0,06 (Sampel A)	0,31829	0,31983
0,84 (Sampel B)	0,31821	0,31935
6,78 (Sampel C)	0,31756	0,31887

Gambar 3 menunjukkan hasil citra morfologi permukaan film Al_xGa_{1-x}N. Terlihat bahwa semakin besar konsentrasi Al pada film semakin lembut atau halus ukuran bulir kristal (grain size) yang terbentuk pada film. Di samping itu hasil pengukuran kekasaran permukaan (Gambar 4) juga menunjukkan bahwa semakin besar konsentrasi Al semakin kecil nilai kekasaran



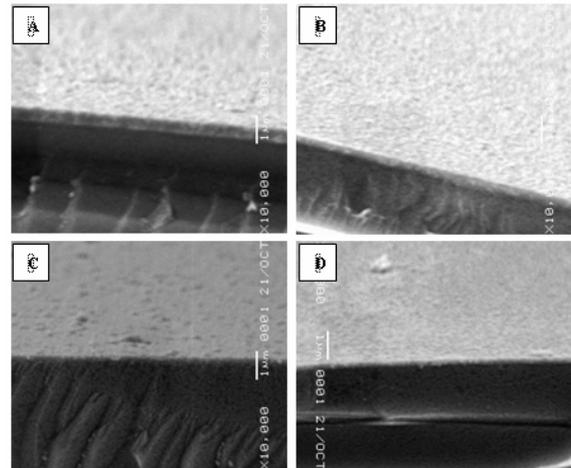
Gambar 3. Citra morfologi permukaan film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Si}(111)$ dengan konsentrasi Al sebesar 0,06%(A); 0,84%(B); 6,78%(C) dan 40,13%(D).



Gambar 4. Grafik kekasaran permukaan film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Si}(111)$ terhadap variasi konsentrasi Al.

permukaan atau semakin halus morfologi film. Ukuran besar kecilnya grain dan kekasaran permukaan material khususnya $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ berkaitan dengan perbedaan radius ion penyusun film yaitu radius ion untuk Al sebesar $0,5 \text{ \AA}$ dan Ga sebesar $0,62 \text{ \AA}$. Besar radius ion bahan mempengaruhi besar kecilnya sel satuan kristal yang merupakan penyusun dari sebuah grain dari material, dimana semakin besar radius ion suatu bahan akan menghasilkan ukuran *grain* yang semakin besar juga.

Gambar 5 memperlihatkan citra penampang lintang film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang ditumbuhkan di atas substrat Si(111) pada konsentrasi Al yang berbeda. Terlihat bahwa secara umum film $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang telah ditumbuhkan mempunyai penampang yang hampir homogen dan rata. Hal ini disebabkan penumbuhan film dilakukan dengan menggunakan sumber radikal nitrogen yang berupa keadaan molekul netral tereksitasi nitrogen (N_2^*) pada sistem *fourth positive system* (4.PS) dengan transisi tingkat energi $D^3\Sigma_u^+ \rightarrow B^3\Pi_g$ dan pada sistem *second positive system* (2.PS) dengan transisi tingkat energi $C^3\Pi_u \rightarrow B^3\Pi_g$ yang telah dilakukan penulis [13], dimana sifat N_2^* yang energinya lebih rendah dibandingkan dengan ion N^+ dan N_2^+ dapat menghasilkan deposisi dengan permukaan film yang rata. Hasil pengujian ketebalan film dari citra penampang SEM untuk



Gambar 5. Citra SEM penampang lintang film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}/\text{Si}(111)$ dengan konsentrasi Al sebesar 0,06%(A); 0,84%(B); 6,78%(C) dan 40,13%(D).

sampel A, sampel B, sampel C dan sampel D berturut-turut 0,6 mm; 0,4 mm; 0,3 mm; dan 0,2 mm. Hal ini menyatakan bahwa semakin besar konsentrasi Al semakin rendah laju penumbuhan film.

KESIMPULAN

Film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ telah ditumbuhkan di atas substrat Si(111) tipe-p dengan metode PA-MOCVD. Hasil pengujian komposisi dengan EDS menunjukkan bahwa film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang ditumbuhkan bersifat kekosongan nitrogen. Hasil pengujian struktur kristal menunjukkan bahwa film tipis $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ mempunyai struktur kristal pada bidang heksagonal $P6_3mc$ () dengan bidang difraksi dominan $(10\bar{1}0)$ dan $(10\bar{1}1)$. Semakin besar konsentrasi Al pada film semakin rendah kualitas kristal dari sampel yang ditumbuhkan. Nilai *FWHM* dari puncak bidang $(10\bar{1}0)$ dan $(10\bar{1}1)$ untuk sampel A memiliki nilai yang paling kecil sebesar $0,24972^\circ$ dan $0,35451^\circ$ yang mengindikasikan bahwa sampel tersebut mempunyai kualitas struktur kristal pada bidang $(10\bar{1}0)$ dan $(10\bar{1}1)$ yang lebih baik dibandingkan dengan sampel B dan C. Semakin besar konsentrasi Al pada film semakin lembut atau halus ukuran bulir kristal (*grain size*) serta semakin kecil nilai kekasaran permukaan pada film. Hasil penampang lintang film $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ yang telah ditumbuhkan hampir homogen dan rata, karena penumbuhan film dilakukan dengan menggunakan sumber radikal nitrogen yang berupa keadaan molekul netral tereksitasi nitrogen (N_2^*) yang dihasilkan dari sumber plasma 2,45 GHz. Dari hasil pengujian ketebalan film menunjukkan semakin besar konsentrasi Al semakin rendah laju penumbuhan film.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Riset dan Teknologi Republik Indonesia

atas pendanaan penelitian ini oleh proyek penelitian Riset Unggulan Terpadu (RUT) XII, dengan judul "AlGaN/GaN Heterostructure Field Effect Transistors", 2005 dengan nomor kontrak: 01/Perj/Dep.III/RUT/PPKI/II/2005. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dr. Alevander Yalovenko dan Dr. Michael Savvatev dari NT-MDT Zelenograd Moscow atas pengujian SPM dan diskusinya.

DAFTARACUAN

- [1]. LIU, S.S, LI, P.W, LAN, W.H., and CHENG, Y.C., *Materials Science and Engineering B*, **126** (2006) 33
- [2]. LU, Y., LIU, X., WANG, X., LU, D. C., LI, D., HAN, X., CONG, G., and WANG, Z., *Crystal Growth*, **263** (2004) 4
- [3]. JIANG, H. X., and LIN, J. Y., *Optoelectronics Rev.*, **10 (4)** (2002) 271
- [4]. BALMER, R. S., HILTON, K. P., NASH, K. J., UREN, M. J., WALLIS, D.J., LE, D., WELLS, A., MISSOUS, M., and MARTIN, T., *Semicond. Sci. Tech.*, **19** (2004) L65
- [5]. ZHANG, B. S., WU, M., LIU, J. P., CHEN, J., ZHU, J. J., SHEN, X. M., FENG, G., ZHAO, D. G., WANG, Y. T., YANG, H., and BOYD, A. R., *Crystal Growth*, **27** (2004) 316
- [6]. LIAW, H. M., VENUGOPAL, R., WAN, J., and MELLOCH, M. R., *Solid State Electron*, **45** (2001) 417
- [7]. BERNAT, J., JAVORKA, P., FOX, A., MARSO, M., and KORDOS, P., *Elect. Mat.*, **33** (5) (2004) 436.
- [8]. GIL, B., *Group III Nitride Semiconductor Compounds: Physics and Applications*, Oxford University Press, United State, (1998)
- [9]. SUGIANTO, SUPRIYANTO, E., WENDRI, N., SUTANTO, H., BUDIMAN, M., ARIFIN, P., dan BARMAWI, M., *Jurnal Fisika HFI A*, **5** (2002) 05861-05865
- [10]. JONES, A.C. and O'BRIEN, P., *CVD of Compound Semiconductors: Precursors Synthesis, Development and Applications*, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Germany, (1997)
- [11]. SURYANARAYANA, C., and NORTON, M. G., *X-Ray Diffraction A Practical Approach*, Plenum Press, New York, (1998)
- [12]. LIOU, B.T., YEN, S.H., and KUO, Y.K., *Applied Physics A*, **00**, (2005) 1
- [13]. SUTANTO, H., SUBAGIO, A., SUPRIYANTO E., ARIFIN, P., SUKIRNO, BUDIMAN, M., and BARMAWI, M., Optical Emission Spectroscopy of Active Nitrogen Species Induced by 2.45 GHz Microwave Plasma Source, *Proceedings on The 8th International Conference on Quality in Research (QIR)*, 9-10 Agustus 2005, (2005) MM11-OMM-07