

PENUMBUHAN LAPISAN TIPIS SEMIKONDUKTOR GaN DI ATAS SUBSTRAT SILIKON DENGAN METODE SOL-GEL

**Heri Sutanto, Iis Nurhasanah, Indras Marhaendrajaya, Ahmad Taufani, Luluk L.
Badriyah, dan Wahyu Ambikawati**

Laboratorium Fisika Material, Jurusan Fisika, Fak. MIPA, Universitas Diponegoro
Jln. Prof. Sudharto, Tembalang, Semarang, 50239, Telp/Fax: (024)70790933/ (024)76480822

Abstrak

Film tipis semikonduktor galium nitrida (GaN) telah berhasil dideposisi di atas substrat Si(004) dengan metode sol-gel. Gel dipreparasi dari kristal gallium-citrate-amine. Kristal ini dibentuk dari larutan yang mengandung ion-ion Ga^{+3} dan asam sitrat (CA). Gel di tempatkan di atas substrat dan kemudian substrat tersebut diputar dengan laju 1100 rpm Lapisan-lapisan gel yang diperoleh kemudian ditempatkan pada programmable furnace. Temperatur deposisi divariasi masing-masing pada temperatur 800 °C, 900 °C, dan 1000 °C dalam lingkungan gas nitrogen dalam rentang waktu 2 jam. Kualitas kristal film tipis GaN yang dihasilkan dikarakterisasi melalui pengukuran XRD. Morfologi permukaan dan tampang lintang film diobservasi melalui pencitraan SEM, dan komposisi film ditentukan melalui karakterisasi EDX. Hasil karakterisasi menunjukkan bahwa seluruh film tipis GaN yang dideposisi di atas substrat silikon memiliki orientasi polikristal. Kualitas kristal film GaN yang terbentuk dipengaruhi oleh temperatur deposisi. Dalam rentang temperatur deposisi yang digunakan, peningkatan temperatur deposisi dapat meningkatkan kualitas kristal film GaN yang dideposisi.

Kata kunci: Film tipis GaN; Teknik Spin-coating; Substrat Silikon

1. Pendahuluan

Semikonduktor GaN (Galium Nitrida) merupakan material yang memiliki nilai celah pita energi lebar dengan struktur transisi langsung ($E_g = 3,45$ eV pada temperatur ruang). Kekuatan mekanisnya yang tinggi, sifat transport listriknya yang baik dan adanya kecocokan dalam struktur hetero dengan InGaN dan AlGaIn membuat nitrida ini menjadi kandidat yang ideal untuk berbagai aplikasi. Hingga saat ini, lapisan GaN yang ditumbuhkan di atas substrat Al_2O_3 merupakan material aktif yang sangat penting untuk divais-divais elektronik dan optoelektronik, seperti fotodetektor ultraviolet, dioda laser dan dioda pememisi cahaya yang beroperasi pada panjang gelombang cahaya tampak, divais-divais transistor, display, memori penyimpanan data yang memiliki mobilitas tinggi yang dapat beroperasi pada temperatur tinggi, frekuensi tinggi dan daya tinggi (Li, dkk. 1997; Yoshida, dkk. 2003). Beberapa peneliti telah berhasil mendeposisi lapisan tipis GaN di atas berbagai jenis substrat seperti Al_2O_3 , 6H-SiC, ZnO, SiC, Si, dan sebagainya (Brown, dkk. 2002; Liaw, dkk. 2001), dengan menggunakan berbagai teknik deposisi, seperti *reactive radio-frequency (RF) sputtering*, *metal organic vapor phase epitaxy (MOVPE)*, *plasma assisted molecular beam epitaxy (PA-MBE)*, *metal organic chemical vapor deposition (MOCVD)*, *plasma assisted metal organic chemical vapor deposition (PA-MOCVD)* (Sutanto, dkk., 2005), dan *nebulized spray pyrolysis* (Amimer, dkk., 2001; Hasan, dkk. 2005; Lu., dkk. 2004; Wang, dkk., 2005).

Pada penelitian ini telah dilakukan studi penumbuhan lapisan (GaN) di atas substrat silikon Si(004) dengan teknik *sol-gel spin-coating* pada temperatur deposisi yang bervariasi. Sebagai prekursor Ga digunakan kristal *gallium-citrate-amine* sedangkan sebagai prekursor N digunakan gas Nitrogen UHP. Bila dibandingkan dengan teknik-teknik penumbuhan yang biasa digunakan, teknik deposisi dengan sol-gel tergolong sederhana dan mudah dalam pengoperasiannya. Disamping itu biaya yang diperlukan relatif murah. Paper ini memaparkan karakteristik fisis lapisan tipis semikonduktor GaN yang berhasil ditumbuhkan di atas substrat Si dengan metode sol-gel, yang meliputi; struktur kristal, morfologi dan sifat optiknya. Struktur kristal ditentukan berdasarkan hasil karakterisasi XRD, morfologi diobservasi melalui pencitraan SEM, dan komposisi diobservasi melalui EDX.

2. Prosedur Eksperimen

Lapisan tipis semikonduktor GaN ditumbuhkan dengan teknik *sol-gel spin-coating* menggunakan kristal *gallium-citrate-amine* sebagai prekursor Ga. Sedangkan sebagai sumber N digunakan gas N_2 yang diaktifkan melalui pemanasan pada suhu tinggi. Kristal *gallium-citrate-amine* yang berwarna putih, dihasilkan melalui proses

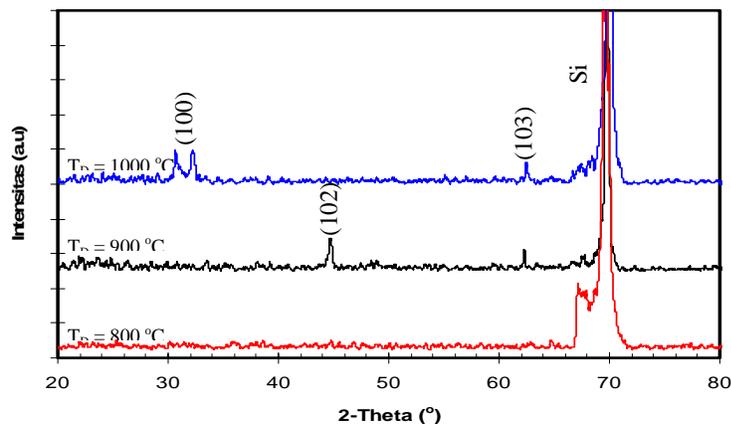
preparasi gel dari larutan yang mengandung ion-ion Ga^{+3} dan asam sitrat [*citric acid* (CA)]. Kristal *gallium-citrate-amine* ini memiliki formula kimia $(\text{NH}_4)_3[\text{Ga}(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2]4\text{H}_2\text{O}$. Mekanisme/proses preparasi kristal Ga-citrate-amine yang dilakukan dalam studi ini adalah sebagai berikut; 2,16 g serbuk Ga_2O_3 dilarutkan dalam campuran HCl dan HNO_3 (1:1), larutan ini kemudian dinetralisir hingga memiliki nilai pH 7,5 – 8 dengan cara menambahkan *ammonium hydroxide* secukupnya. Terhadap larutan ini, kemudian ditambahkan 1,1 gr CA sehingga rasio molar dari Ga/CA adalah 1:1. Selanjutnya larutan ini diaduk (*stirred*) pada suhu 80°C selama 2 jam, untuk mendapatkan kristal putih. Kristal ini kemudian dibilas dengan aseton dan disimpan dalam *vacuum desiccator* untuk pengeringan. Kristal kering tersebut kemudian dilarutkan dalam *ethylenediamine* untuk mendapatkan larutan jernih (*clear*). Larutan ini (gel) digunakan untuk deposisi lapisan GaN dengan teknik *spin-coating* di atas substrat kristal tunggal Si (004).

Substrat diletakkan di atas *spin coater*. Satu hingga dua tetes gel ditempatkan di atas substrat, dan substrat kemudian diputar dengan laju putaran sebesar 1100 rpm selama 1 menit. Lapisan yang diperoleh kemudian dikeringkan pada temperatur 150°C di atas *hot plate* dan diikuti dengan proses dekomposisi pada temperatur 350°C dalam *furnace* untuk mengeliminir komponen-komponen organik pada lapisan. Selanjutnya lapisan ditempatkan dalam sebuah *programmable furnace*. Temperatur *furnace* dinaikkan hingga mencapai 1000°C dari temperatur ruang dengan laju pemanasan sekitar $10^\circ\text{C}/\text{menit}$ dalam lingkungan gas nitrogen UHP 99,99% yang dialirkan secara konstan sebesar 100 sccm. Lapisan tersebut dipanaskan pada temperatur deposisi yang bervariasi; 800°C , 900°C , dan 1000°C selama 2 jam dan kemudian didinginkan dengan laju pendinginan $10^\circ\text{C}/\text{menit}$ hingga temperatur ruang untuk mendapatkan lapisan kristal GaN.

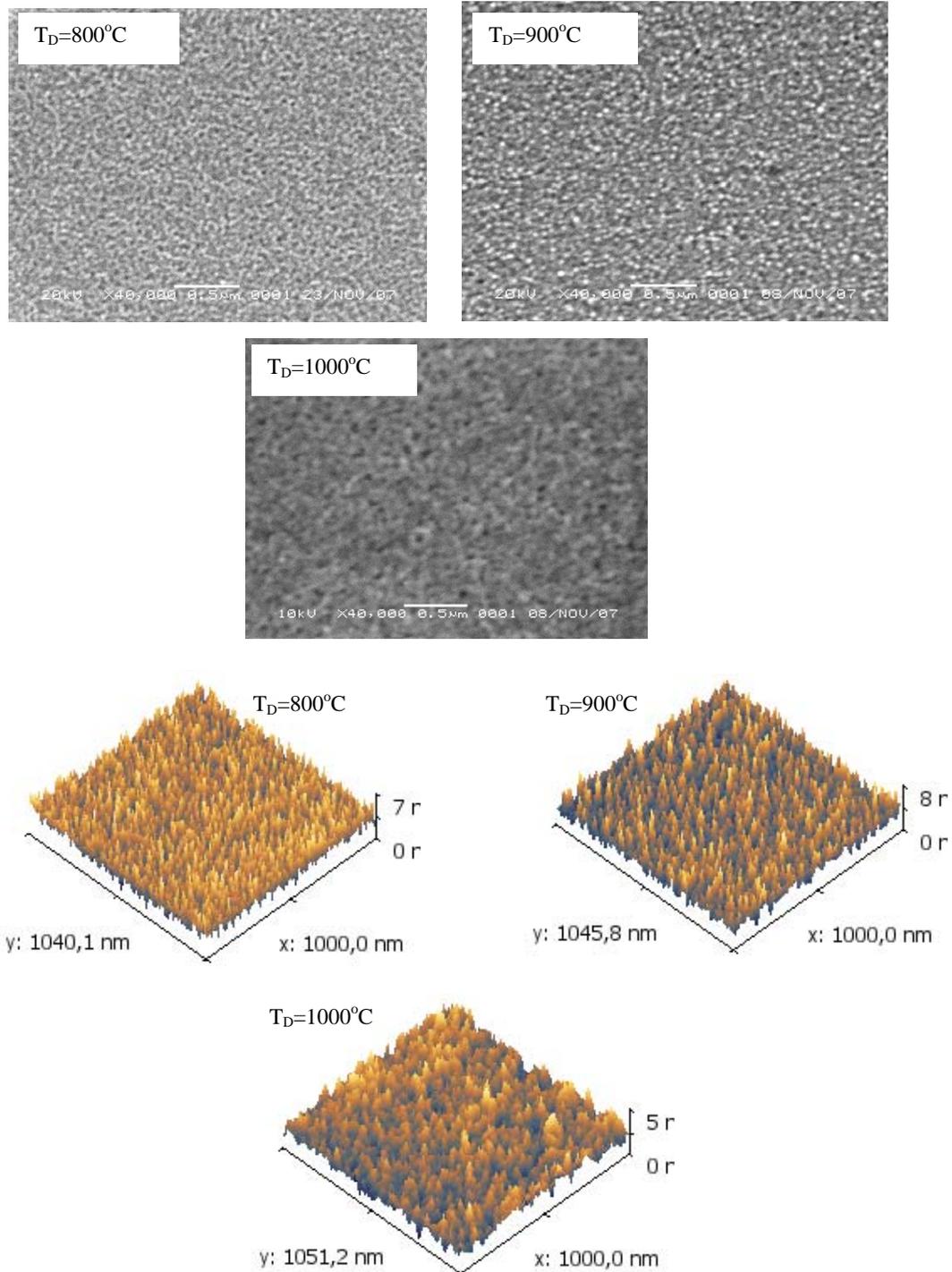
Kekristalan lapisan GaN hasil deposisi dikarakterisasi dengan *X-ray diffraction* (XRD), morfologi permukaan dan tampak lintang dicitra dengan menggunakan *scanning electron microscope* (SEM). Dari hasil citra SEM tampak lintang maka ketebalan lapisan GaN dapat diperoleh.

3. Hasil dan Diskusi

Gambar 1 menunjukkan pola difraksi sinar-X pada sampel-sampel film tipis GaN yang dideposisi di atas substrat Si (004) pada berbagai temperatur deposisi/penumbuhan. Tampak bahwa lapisan GaN yang ditumbuhkan masih memiliki orientasi polikristalin, yang ditunjukkan oleh munculnya berbagai puncak orientasi bidang kristal. Lapisan GaN yang ditumbuhkan membentuk struktur kubik mengikuti struktur kristal silikon. Temperatur deposisi sangat mempengaruhi kualitas kristal lapisan GaN yang ditumbuhkan. Hasil pengujian struktur kristal dengan XRD menunjukkan bahwa lapisan tipis GaN yang ditumbuhkan pada temperatur dekomposisi nitrogen sebesar 800°C masih menghasilkan lapisan tipis dengan struktur yang amorf. Dengan kenaikan temperatur dekomposisi N_2 menjadi 900°C dan 1000°C lapisan GaN yang terbentuk telah menunjukkan struktur kristalin dengan bidang difraksi (102) dan (103). Hasil ini menyatakan bahwa kenaikan temperatur dekomposisi N_2 telah mampu meningkatkan kualitas kristal lapisan GaN yang terbentuk. Namun pada temperatur 1000°C kualitas kristalinitasnya kembali cenderung menurun ditandai dengan pelebaran puncak difraksi bidang (102). Kenaikan temperatur ini memungkinkan prekursor N hasil dekomposisi mempunyai energi yang cukup untuk berikatan dengan Ga semakin efektif. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa temperatur dekomposisi optimum dari gas nitrogen dalam penumbuhan lapisan GaN dengan metode sol-gel adalah 900°C .

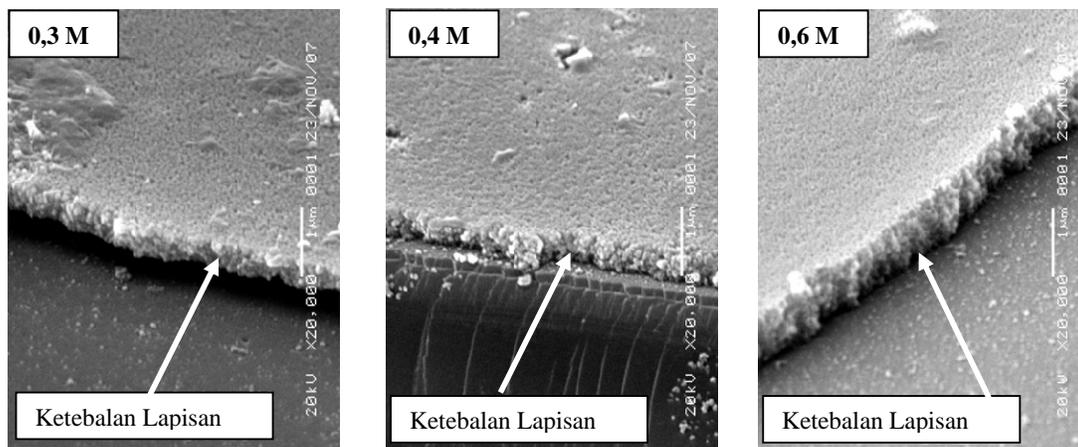


Gambar 1. Pola XRD pada lapisan tipis semikonduktor GaN yang dideposisi di atas substrat Silikon (004) pada berbagai temperatur; 800°C ; 900°C ; dan 1000°C



Gambar.2. Citra SEM morfologi dari film tipis GaN yang ditumbuhkan dengan variasi temperatur dekomposisi N_2 :
a. 800°C b. 900°C c. 1000°C

Hasil pengujian SEM seperti diperlihatkan pada gambar 2. Terlihat bahwa citra SEM morfologi permukaan film tipis GaN yang telah dideposisi mempunyai permukaan yang halus dan hampir homogen. Hal ini menunjukkan bahwa pola nukleasi antar atom pada deposisi ini sangat lambat dengan ditandai pembentukan bulir kristal yang lembut dan rata. Dengan kenaikan temperatur deposisi nampak terjadi pembesaran ukuran bulir kristal (*grain size*). Ukuran bulir kristal secara umum dibawah 100 nm. Hasil ini menunjukkan bahwa metode sol-gel telah mampu menghasilkan lapisan tipis yang homogen dengan ukuran bulir kristal yang mampu mencapai orde nanometer (nm). Dari hasil yang telah diperoleh sangat memungkinkan untuk dibuat divais yang membutuhkan kekasaran permukaan bahan semikonduktor orde nanometer. Namun untuk dimensi luas $1 \times 1 \text{ cm}^2$ masih sulit didapatkan permukaan film yang rata (hasil yang diperoleh masih menunjukkan adanya pola keretakan pada film tipis hasil deposisi). Pola citra 3 dimensi untuk luas scan $1 \times 1 \mu\text{m}^2$ juga telah menunjukkan pola morfologi yang halus dan rata. Namun pada temperatur dekomposisi 1000°C nampak morfologi permukaan mulai terjadi pori sehingga citra 3D terlihat agak kurang rata. Hal ini kemungkinan pada temperatur tersebut energi dekomposisi N_2 terlalu besar sehingga pola ikatan yang terbentuk cenderung kuat/terjadi loncatan-loncatan atom N saat berikatan dengan Ga.



Gambar.3. Citra SEM penampang dengan perbesaran 20.000x dari film tipis GaN yang ditumbuhkan dengan variasi molaritas larutan gel kristal Ga.

Terlihat dari hasil pengujian SEM penampang dengan perbesaran 20.000x (gambar 3) bahwa deposisi dengan kekentalan gel sebesar 0,3 M; 0,4 M dan 0,6 M telah menghasilkan lapisan berturut-turut dengan ketebalan sekitar $0,35 \mu\text{m}$; $0,4 \mu\text{m}$ dan $0,7 \mu\text{m}$. Hasil ini menyatakan bahwa semakin pekat/besar nilai molar dari larutan akan menghasilkan lapisan yang semakin tebal atau dengan kata lain laju penumbuhan (*growth rate*) lapisan semakin meningkat. Secara umum dapat dikatakan bahwa penampang dari lapisan yang ditumbuhkan mempunyai morfologi yang rata. Hasil ini hampir setara dengan hasil deposisi film tipis GaN yang telah dilakukan peneliti dengan metode modern MOCVD. Dari keseluruhan hasil yang didapatkan dapat dikatakan bahwa metode *chemical solution deposition* (CSD) telah mampu menghasilkan lapisan semikonduktor yang tipis dengan morfologi permukaan dan penampang yang halus. Dengan optimasi yang lain diharapkan metode CSD ini mampu menghasilkan deposisi lapisan tipis (dibawah $1 \mu\text{m}$) yang saat ini biasa dilakukan dengan metode deposisi modern seperti MOCVD, PLD, MBE dan Sputtering.

4. Kesimpulan

Telah berhasil dideposisi lapisan tipis semikonduktor GaN dengan metode sol-gel. Hasil pengujian XRD menunjukkan bahwa struktur lapisan GaN pada temperatur dekomposisi N_2 sebesar 800°C bersifat amorf, sedangkan pada temperatur dekomposisi 900°C dan 1000°C menunjukkan struktur polikristalin. Kenaikan temperatur dekomposisi telah mampu menaikan kualitas struktur kristal lapisan. Hasil pengujian morfologi permukaan dengan SEM secara menunjukkan bahwa lapisan hasil deposisi mempunyai permukaan yang rata dan hampir homogen. Hasil ini dapat digunakan sebagai sampel dalam pemrosesan berbagai aplikasi divais elektronik. Kualitas lapisan GaN masih perlu ditingkatkan lagi, terutama kehomogenan morfologinya untuk area $1 \times 1 \text{ cm}^2$. Semakin pekat/kental larutan deposisi semakin besar laju penumbuhan lapisan yang terjadi. Telah diperoleh parameter optimum



temperatur dekomposisi N₂ sebesar 900°C. Secara umum hasil-hasil karakterisasi yang telah diperoleh menunjukkan bahwa teknik *spin-coating* memiliki potensi besar untuk digunakan dalam penumbuhan lapisan semikonduktor GaN.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional Republik Indonesia atas dukungan dana pada program penelitian ini, melalui proyek Hibah Bersaing Tahun (Tahun 2007) dengan No Kontrak: 321/SP2H/PP/DP2M/III/2008 Tanggal 5 Maret 2008.

Daftar Pustaka

- Amimer, K., Georgakilas, A., Androulidaki, M., Tsagaraki, K., Pavelescu, M., Mikroulis, S., Constantinidis, G., Arbiol, J., Peiro, F., Cornet, A., Colomiotou, M., Kuzmik, J., dan Davydov, V.Y., (2001), "Study of The Correlation Between GaN Material Properties and The Growth Conditions of Radio Frequency Plasma-Assisted Molecular Beam Epitaxy", *Materials Science and Engineering*, B80, hal. 304-308
- Brown, J.D., Borges, R., Piner, E., Vescan, A., Singhal, S. dan Therrien, R., (2002), "AlGaIn/GaN HFETs Fabricated on 100-mm GaN on Silicon (111) Substrates", *Solid-State Electronics*, 46, hal. 1535-1539.
- Hasan, Z., Lee, Y.C., Yam, F.K., Ibrahim, K., Kordesch, M.E., Halven, W. dan Colter, P.C., (2005), "Characteristics of Low Temperature Grown GaN Films on Si(111)", *Solid State Communications*, 133, hal. 283-287.
- Li, J.Z., Lin, J.Y., dan Jiang, H.X., (1997), "Two-Dimensional Electron Gas in AlGaIn/GaN Heterostructures", *Journal Vacuum Science and Technology*, B 15, hal. 117-120.
- Liaw, H.M., Venugopal, R., Wan, J., dan Melloch, M.R., (2001), "Influence of the AlN Buffer Layer Growth on AlGaIn/GaN Films Deposited on Si(111) Substrates", *Solid-State Electronics*, 45, hal. 417-422.
- Lu, Y., Liu, X., Wang, X., Lu, D. C., Li, D., Han, X., Cong, G., dan Wang, Z., (2004), "Influence of The Growth Temperature of The High Temperature AlN Buffer on The Properties of GaN Grown on Si(111) Substrate, *Crystal Growth*, 263, hal. 4-9.
- Sutanto, H., Subagio, A., Supriyanto, E., Arifin, P., Budiman, M., Sukirno, dan Barmawi, M., (2005), "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)*, ISSN: 1411-1284, hal. MM11-OMM-07.
- Wang, H.T., Anderson, T.J., Ren, F., Li, C., Low, Z.N., Lin, J., Gila, B.P., Pearton, S.J., Osinsky, A., dan Dabiran, A., (2006), "Robust Detection of Hydrogen Differential AlGaIn/GaN High Electron Mobility Transistor Sensing Diodes", *Applied Physics Letters*, 89, hal. 242111-3.
- Wu, J., Han, X., Li, J., Li, D., Lu, Y., Wei, H., Cong, G., Liu, X., Zhu, Q., dan Wang, Z., (2005), "Crack-Free GaN/Si(111) Epitaxial Layers Grown with InAlGaIn Alloys as Compliant Interlayer by Metalorganic Chemical Vapor Deposition", *Journal of Crystal Growth*, 279, hal. 335-340.
- Yoshida, S., Ishii, H., Li, J., Wang, D., dan Ichikawa, M., (2003), "A High-Power AlGaIn/GaN Heterojunction Field-Effect Transistor", *Solid-State Electronics*, 47, hal. 589-592.