

PEMBUATAN SENSOR GAS HIDROGEN BERBASIS FILM TIPIS GaN DENGAN TEKNIK SOL GEL SPIN COATING UNTUK KOMPONEN PADA SISTEM PENDETEKSI KEBOCORAN GAS

D. Rusdiana*

Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

Diterima: 20 September 2012. Disetujui: 15 Oktober 2012. Dipublikasikan: Januari 2013

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membuat sensor gas dengan sensitivitas baik, dipergunakan sebagai komponen dalam sistem pendeteksi kebocoran gas hidrogen. Bahan dasar sensor berbahan film tipis semikonduktor Gallium Nitrida (GaN) yang ditumbuhkan di atas substrat *sapphire* (Al_2O_3) menggunakan teknik *sol gel spin coating*. Parameter penumbuhan film tipis temperatur penumbuhan $850^{\circ}C$, laju *spinner* 1000 rpm, molaritas Ga_2O_3 1,33 M dan laju aliran gas nitrogen 100 sccm. Hasil pengujian sifat listrik dalam lingkungan gas hidrogen ternyata resistansi listrik sensor gas menurun secara tajam dari $1,5 \times 10^{-2}$ Ohm.cm menjadi 7×10^{-3} Ohm.cm bila laju aliran gas diperbesar dari 20 sccm hingga 150 sccm. Pengujian sensitivitas sensor gas dilakukan dalam lingkungan gas hidrogen dan gas nitrogen. Hasil pengujian sensor gas dalam lingkungan gas hidrogen memiliki sensitivitas sekitar 60 % sedangkan dalam lingkungan gas nitrogen sekitar 50 % laju aliran gas 100 sccm. Tingkat sensitivitas sensor gas dalam lingkungan gas hidrogen lebih tinggi dibandingkan dalam lingkungan gas nitrogen.

ABSTRACT

This research aims to make the gas sensors using GaN films that grown on sapphire substrate (Al_2O_3) by sol gel spin coating techniques with growth temperature $850^{\circ}C$, spinner rate 1000 rpm, molarity of Ga_2O_3 1.33 M and nitrogen flow rate 100 sccm. Upon exposure to volatile organic compound (VOC), especially to hydrogen gas, the electrical resistance of semiconducting GaN thin film was found to rapidly decrease from 1.5×10^{-2} Ohm.cm to 7×10^{-3} Ohm.cm after increasing the hydrogen gas flow rate from 20 sccm to 150 sccm. The gas sensors exhibited good sensitivity of about 60 % in 100 sccm flowing hydrogen gas and about 50 % in 100 sccm flowing nitrogen gas.

© 2013 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: Hydrogen Gas Sensor; GaN film; spin coating sol ge techniques.

PENDAHULUAN

Secara historis, penelitian dan pengembangan material semikonduktor paduan (*compound*) berhubungan erat dengan pengembangan divais optoelektronik maupun divais elektronik. Salah satu divais elektronik yang cukup penting adalah sensor gas untuk memonitor gas-gas yang berbahaya seperti hidrogen (H_2), metana (CH_4), karbon monoksida (CO), asetilen (C_2H_2), dan nitrat oksida (NO_2) pada temperatur yang relatif tinggi. Material

semikonduktor yang digunakan untuk aplikasi sensor gas yang sedang diteliti secara luas oleh para peneliti adalah semikonduktor paduan metal oksida seperti SnO_2 (Yamazoe *et.al*, 1992, Morrison, 1982), akan tetapi karena bahan ini memiliki celah pita energi yang tidak begitu lebar dan kestabilan termokimianya yang relatif rendah maka sensor gas yang terbuat dari bahan SnO_2 memiliki kualitas yang kurang baik. Sensor gas yang terbuat dari bahan SnO_2 telah diketahui memiliki sensitifitas yang kurang baik untuk banyak gas dan memiliki waktu respon yang lama pada sinyal sensor (Gopel dan Schierbaum, 1995). Untuk meningkatkan sensitivitas sensor gas diperlukan bahan se-

*Alamat Korespondensi:
Jl. Dr. Setia Budi No.229 Bandung, Indonesia
E-mail: dadirusdiana@yahoo.com

mikonduktor yang memiliki celah pita energi lebar dan stabil secara termokimia pada temperatur tinggi (Shur *et.al*, 1999, Sardar *et.al*, 2003, Kung *et. al*, 1995, Tansley *et.al*, 1997, Strite *et. al*, 1992, Akasaki *et.al*, 1994, Fertita *et.al*, 1994). Material GaN merupakan material alternatif yang paling tepat, karena selain bahan ini memiliki celah pita energi yang lebar (3,4 eV) juga memiliki struktur celah pita energi dengan transisi langsung (*direct band-gap*). Keuntungan lain dari bahan ini adalah memiliki kestabilan kimiawi, mekanik, dan termal yang tinggi, sehingga stabil dipergunakan pada kondisi lingkungan yang ekstrim. Untuk itu dalam penelitian ini dikaji potensi material GaN untuk aplikasi sensor gas.

Penelitian ini diarahkan pada studi pembuatan sensor gas untuk menghasilkan divais sensor gas yang memiliki sensitifitas yang tinggi untuk memonitor gas-gas yang berbahaya seperti hidrogen (H_2), metana (CH_4), karbon monoksida (CO), asetilen (C_2H_2), dan nitrat oksida (NO_2) pada temperatur yang relatif tinggi. Dengan demikian permasalahan dalam penelitian ini adalah:

Bagaimanakah sensitifitas sensor gas yang dibuat dari bahan semikonduktor GaN ?”

Untuk menjawab pertanyaan penelitian ini telah dilakukan studi penumbuhan film tipis GaN dengan teknik penumbuhan *sol gel spin coating* dengan melakukan optimasi pada beberapa parameter penumbuhan seperti molaritas gel, rpm dari *spinner*, dan temperatur penumbuhan sehingga ditemukan parameter penumbuhan yang optimum untuk menghasilkan film tipis GaN yang memiliki karakteristik fisis yang baik untuk aplikasi sensor gas. Selanjutnya pada tahap berikutnya akan dibuat sensor gas dari film tipis GaN yang akan diuji tingkat sensitifitas terhadap beberapa macam gas, dalam hal sebagai tahap awal gas uji yang dipergunakan adalah gas nitrogen dan gas hidrogen.

Penelitian film tipis GaN untuk aplikasi sensor gas jumlahnya masih terbatas karena kebanyakan para peneliti masih tertarik untuk mengeksplor sensor gas dari bahan semikonduktor paduan metal oksida, namun bahan semikonduktor paduan metal oksida ternyata kurang stabil secara kimiawi pada temperatur tinggi sehingga sebagai alternatif dipilihlah material semikonduktor yang stabil secara kimiawi pada penggunaan temperatur tinggi seperti semikonduktor GaN yang memiliki celah pita energi yang lebar (3,4 eV).

Secara khusus urgensi dalam penelitian

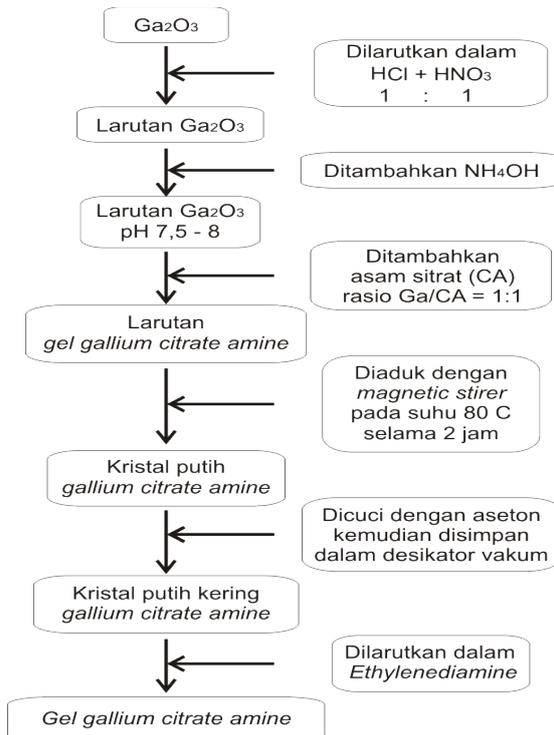
ini adalah bertujuan untuk membuat sensor gas yang memiliki sensitifitas yang baik pada penggunaan temperatur tinggi yang akan dipergunakan sebagai komponen dalam sistem pendeteksi kebocoran gas di laboratorium fisika material untuk sarana perkuliahan mata kuliah pemrosesan bahan semikonduktor dan piranti semikonduktor di jurusan pendidikan fisika Universitas Pendidikan Indonesia. Sensor gas tersebut dibuat dari bahan semikonduktor GaN dengan menggunakan teknik *sol gel spin coating* dengan pertimbangan teknik penumbuhan ini memiliki keunggulan dalam hal biaya operasional dan biaya produksinya yang murah dibandingkan dengan teknik penumbuhan lainnya seperti MOCVD (*metalorganic chemical vapor deposition*), MBE (*Molecular Beam Epitaxy*), Sputtering dan PLD (*Pulsed Laser Deposition*), sehingga menguntungkan secara ekonomis.

Sensor gas terutama untuk memonitor kebocoran gas-gas berbahaya yang mudah terbakar dan beracun seperti hidrogen (H_2), metana (CH_4), karbon monoksida (CO), asetilen (C_2H_2), dan nitrat oksida (NO_2) merupakan kebutuhan yang urgen baik untuk kalangan industri maupun laboratorium untuk meminimalisasi resiko terjadinya kebakaran. Untuk memenuhi kebutuhan akan sensor gas tersebut perlu dibuat sensor gas yang tingkat sensitifitasnya tinggi dengan respon waktu yang cepat untuk mendeteksi kehadiran gas-gas beracun tersebut. Untuk penggunaan sensor gas dalam rentang temperatur yang tinggi diperlukan bahan baku sensor yang memiliki kestabilan kimiawi yang tinggi pada temperatur tinggi. Bahan tersebut harus memiliki celah pita energi yang lebar seperti semikonduktor paduan GaN, sehingga untuk memenuhi kebutuhan akan sensor gas tersebut, maka pada penelitian ini akan dikaji potensi semikonduktor GaN pada aplikasi sensor gas dengan teknik penumbuhan yang sederhana dan biaya produksi murah seperti *sol gel spin coating* sehingga menguntungkan secara ekonomis.

METODE

Tahapan awal dalam proses penumbuhan film tipis GaN dengan menggunakan teknik *sol gel spin coating* adalah pembuatan *Gel gallium citrate amine* yang memiliki formula kimia $(NH_4)_3 [Ga(C_6H_5O_7)_2] \cdot 4H_2O$ (Sardar *et.al*, 2003). *Gel gallium citrate amine* digunakan sebagai sumber Ga dalam proses penumbuhan film tipis GaN. Proses pembuatan *gel gallium*

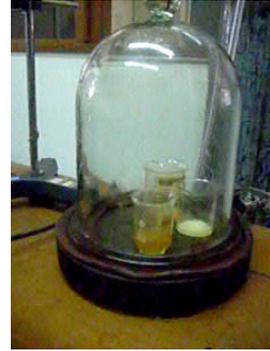
citrate amine ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir pembuatan gel *gallium citrate amine*

Larutan *gel gallium citrate amine* kemudian diaduk selama dua jam pada suhu 80°C dengan menggunakan *magnetic stirrer*. Dari hasil pemanasan dan pengadukan ini dihasilkan kristal putih *gel gallium citrate amine*. Kristal putih yang dihasilkan dibilas dengan aseton kemudian disimpan didalam *desiccator vacuum* untuk proses pengeringan.

Untuk memperoleh *gel gallium citrate amine* maka kristal putih *gel gallium citrate amine* dilarutkan dalam *ethylenediamine* dengan perbandingan 1 : 3 (*weight / volume*). Untuk mempercepat proses pelarutan maka larutan tersebut diaduk dengan menggunakan *magnetik stirrer*. *Gel gallium citrate amine* yang dihasilkan siap digunakan sebagai sumber Ga untuk memperoleh film tipis GaN. Gambar 2 menunjukkan *gel gallium citrate amine* yang ditempatkan di dalam *desiccator vacuum*.



Gambar 2. Gel gallium citrate amine dalam *desiccator vacuum*

Penumbuhan film tipis GaN dengan metode *sol-gel spin-coating*

Proses penumbuhan film tipis GaN diawali dengan menempatkan substrat *sapphire* di atas *spin-coater* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, kemudian ditetaskan *gel gallium citrate amine* di pusat permukaan substrat. Selanjutnya *spin-coater* diputar dengan laju putaran 1000 rpm selama 2 menit. Akibat putaran *spin-coater* maka akan timbul gaya sentripetal yang menyebabkan *gel gallium citrate amine* akan menyebar keseluruhan permukaan substrat *sapphire*. Kemudian substrat *sapphire* yang telah dilapisi *gel gallium citrate amine* dipanaskan pada suhu 100 °C selama beberapa menit untuk proses pengeringan/penguapan pelarut dengan menggunakan *hot-plate*. Proses dekomposisi dilakukan pada suhu 400 °C dengan tujuan untuk menghilangkan unsur-unsur pengotor organik. Setelah itu dilakukan proses deposisi film tipis GaN di dalam *programmable furnace* pada suhu 850 °C dalam lingkungan N₂ (99,99%) sebagai sumber N.

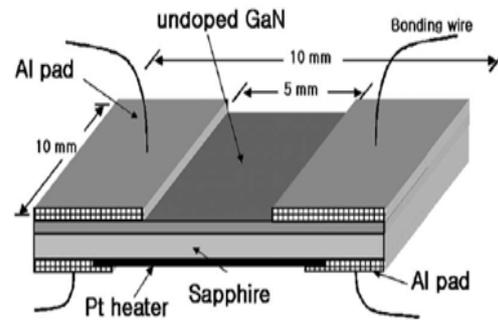


Gambar 3. Substrat *sapphire* di atas *spin-coater*

Proses deposisi dimulai dengan menempatkan substrat yang telah dilapisi tersebut dalam *programmable furnace*. Kemudian temperatur *furnace* dinaikan sampai 850 °C dengan peningkatan temperatur 10 °C/menit. Ketika suhu mencapai 650 °C dialirkan gas Nitrogen ke dalam *furnace* dengan laju aliran gas N₂ yang divariasikan yaitu 16 sccm, 40 sccm dan 100 sccm. Temperatur deposisi dipertahankan konstan pada suhu 850 °C selama 2 jam, kemudian suhu *furnace* diturunkan kembali sampai mencapai suhu kamar, dan aliran gas Nitrogen dihentikan ketika suhu mencapai 650 °C. Dari proses deposisi ini dihasilkan film tipis GaN di atas substrat *sapphire* yang siap untuk dikarakterisasi untuk mengetahui sifat-sifat fisiknya.

Pembuatan dan pengukuran sensor gas

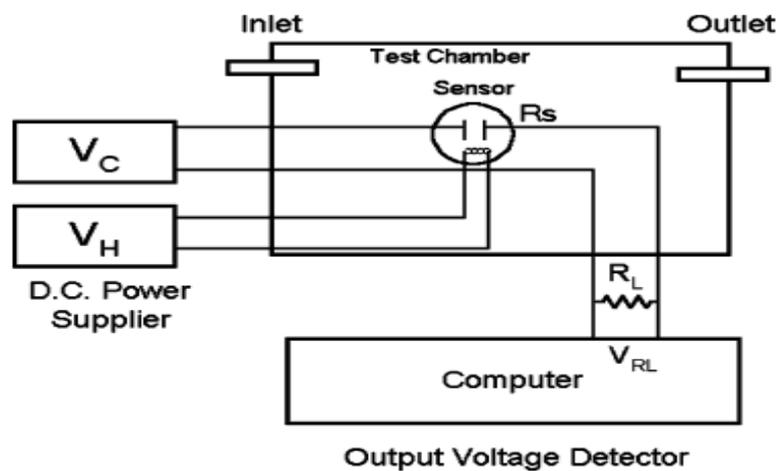
Sensor gas hidrogen dibuat dari material GaN yang tumbuh dengan teknik *sol gel spin coating* dengan parameter temperatur penumbuhan 850° C, laju *spinner* 1000 rpm, molaritas Ga₂O₃ 1,33 M dan sumber N berasal dari gas nitrogen 100 sccm. Struktur sensor gas yang dibuat dalam penelitian ini seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Struktur sensor gas (Dae,2003)

Diagram skematik dari sistem pengukuran sensitifitas gas ditunjukkan pada Gambar 5, dimana V_c adalah tegangan rangkaian, V_H adalah tegangan pemanas, R_s adalah hambatan sensor, R_L adalah hambatan beban dan V_{RL} adalah tegangan output. Untuk menghitung sensitivitas sensor digunakan persamaan (1) (Dae, 2003).

$$S = \frac{(R_{s, \text{di Udara}} R_{s, \text{di dalam gas}})}{R_{s, \text{di Udara}}} \times 100\% \quad (1)$$



Gambar 5. Skema pengukuran sensitifitas sensor gas (Dae.,2003)

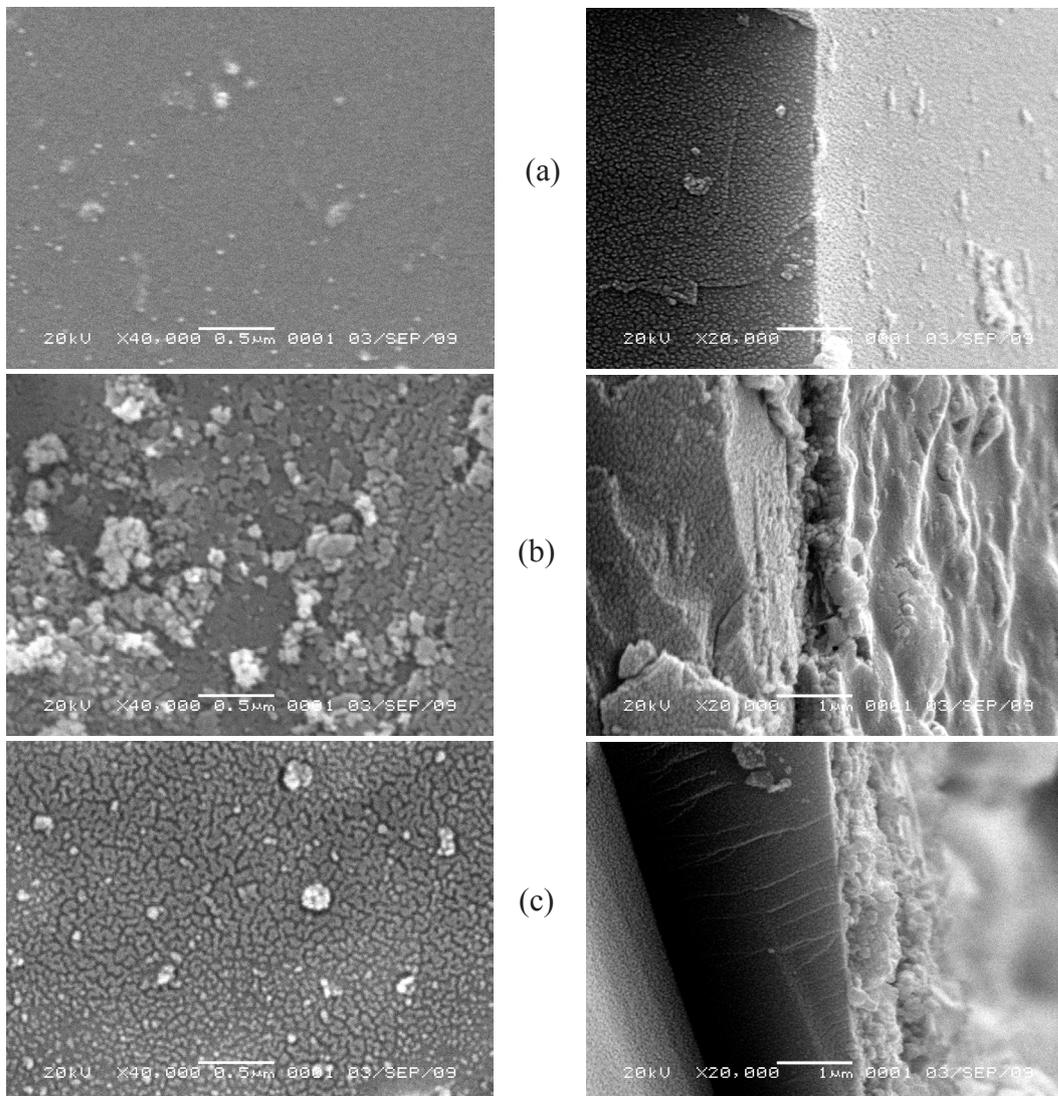
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi SEM (*Scanning Electron Microscope*)

Morfologi permukaan sampel pada Gambar 6(a) menunjukkan bahwa film tipis GaN yang ditumbuhkan dengan molaritas Ga_2O_3 1,07 M dan laju aliran gas Nitrogen 16 sccm belum terbentuk secara merata, demikian pula pada molaritas Ga_2O_3 1,33 M dengan laju aliran gas Nitrogen 16 sccm film yang terbentuk belum merata seperti yang terlihat pada Gambar 6(b) baik gambaran morfologi (gambar kiri) maupun gambaran penampang lintang (gambar kanan). Dari penampang lintang Gambar 6(b) dapat diketahui tebal film yang terbentuk

yaitu sekitar 0,67 μm . Pada molaritas Ga_2O_3 1,33 M dan laju aliran gas Nitrogen 40 sccm, film memiliki morfologi permukaan yang lebih homogen dengan tebal film sekitar 0,78 μm . Hal tersebut menunjukkan film yang terbentuk memiliki kualitas yang lebih baik (Gambar 6(c)).

Penambahan molaritas Ga_2O_3 mempengaruhi jumlah atom Ga yang terkandung dalam film tipis GaN. Ketika molaritas Ga_2O_3 ditingkatkan, jumlah atom Ga dalam film tipis GaN bertambah. Pada sampel dengan molaritas Ga_2O_3 1,07 M mulai terbentuk kristal film tipis GaN (warna putih) seperti tampak pada hasil SEM yang ditunjukkan pada Gambar 6(a). Terlihat bahwa film tipis GaN yang terbentuk tidak melapisi seluruh permukaan substrat yang me-



Gambar 6. Struktur morfologi dan penampang lintang film tipis GaN
 (a) Molaritas Ga_2O_3 1,07 ; 16 sccm, (b) Molaritas Ga_2O_3 1,33 ; 16 sccm
 (c) Molaritas Ga_2O_3 1,33 ; 40 sccm

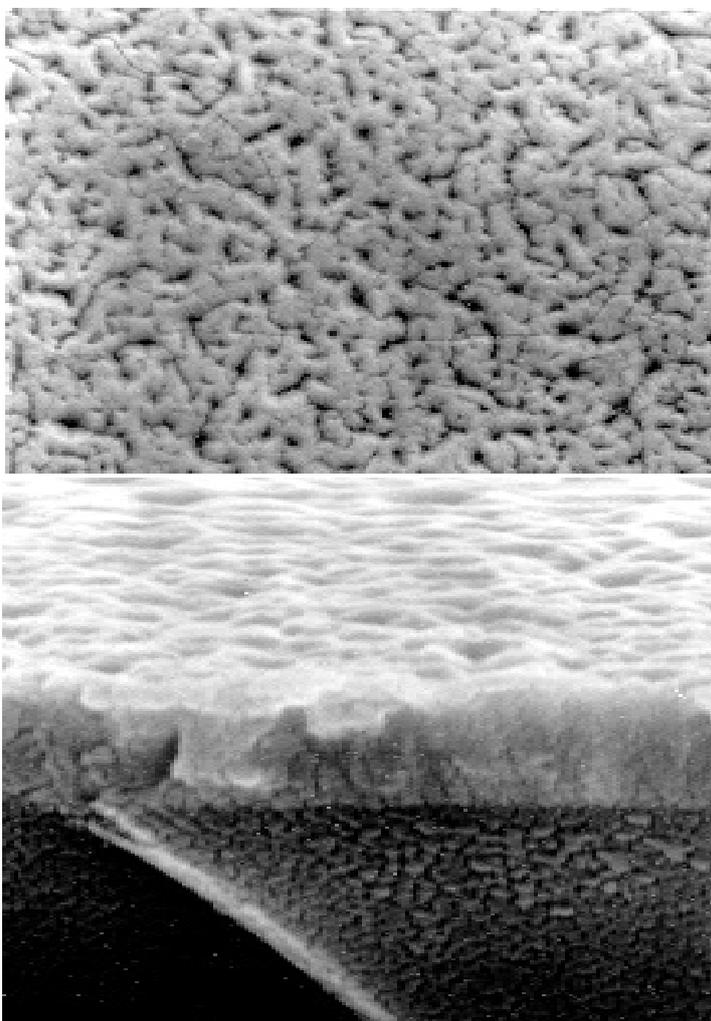
nyebabkan munculnya *streaks* yang disebabkan kurangnya molaritas Ga_2O_3 (Sardar, 2003).

Pada sampel dengan molaritas Ga_2O_3 1,33 M dan laju aliran gas Nitrogen 16 sccm dan 40 sccm ternyata film tipis GaN yang terbentuk belum melapisi seluruh permukaan substrat secara merata, seperti tampak pada hasil SEM Gambar 6(b) dan 6(c).

Penambahan laju aliran N_2 dapat meningkatkan jumlah atom Nitrogen yang terkandung dalam film tipis GaN, sehingga film tipis GaN yang dihasilkan dengan laju aliran gas N_2 100 sccm memiliki karakteristik kristal yang lebih baik seperti tampak pada hasil SEM dimana morfologi permukaan film tipis GaN yang ditumbuhkan lebih homogen (Gambar 7). Ka-

rakterisasi sensor gas

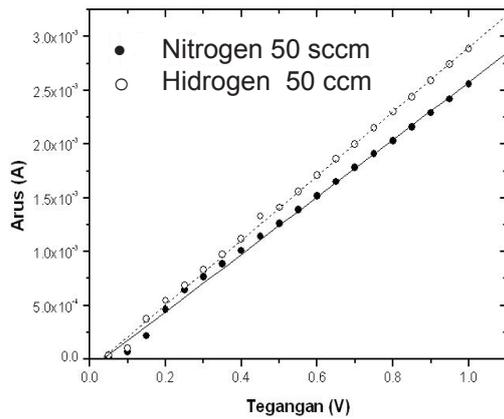
Karakterisasi yang dilakukan untuk pengujian kualitas sampel sensor gas hidrogen adalah karakterisasi listrik yang dilakukan pada temperatur pengukuran 300°C . Karakterisasi tersebut meliputi profil karakteristik arus tegangan (I-V), profil resistivitas dan profil sensitivitas dengan gas uji nitrogen dan hidrogen. Untuk profil karakteristik I-V pada sampel sensor gas dengan gas uji nitrogen dan hidrogen ternyata menunjukkan profil yang sama yaitu respon arus meningkat secara linier terhadap tegangan seperti nampak pada Gambar 8. Hal ini menunjukkan persambungan metal-semikonduktor GaN bersifat ohmik.



Morfologi film GaN dengan parameter
 Ga_2O_3 1,33 M
 N_2 100 sccm

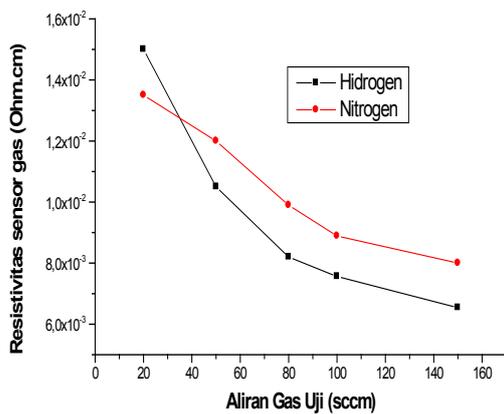
Penampang lintang film GaN dengan parameter
 Ga_2O_3 1,33 M
 N_2 100 sccm

Gambar 7. Profil SEM dari film tipis GaN dengan parameter penumbuhan Ga_2O_3 1,33 M N_2 100 sccm.

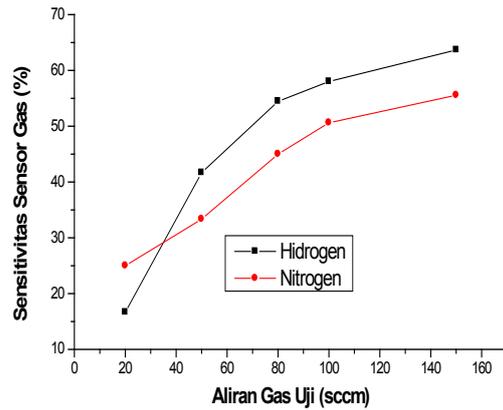


Gambar 8. Karakteristik I-V dari sensor gas berbasis GaN

Pada Gambar 8 nampak bahwa profil I-V untuk sampel yang diberi gas hidrogen sedikit bergeser ke atas, hal ini menunjukkan bahwa resistansi sampel berkurang dalam lingkungan gas hidrogen, hal tersebut terjadi karena adanya proses penyerapan molekul gas hidrogen pada permukaan film GaN lebih banyak dibandingkan dengan proses penyerapan gas nitrogen yang dapat meningkatkan konduktivitas elektron dalam bahan (Yamazoe *et.al*,1992). Dalam lingkungan nitrogen sampel memiliki hambatan sekitar 348,47 kΩ sedangkan dalam lingkungan hidrogen sampel memiliki hambatan sekitar 319,73 kΩ.



Gambar 9. Resistivitas sensor gas terhadap variasi aliran gas untuk gas nitrogen dan hidrogen



Gambar 10. Profil sensitivitas sensor dalam lingkungan nitrogen dan hidrogen.

Pada Gambar 9 nampak bahwa hasil pengukuran resistivitas sensor dalam gas uji nitrogen dan hidrogen yang keduanya menunjukkan profil yang sama yaitu mengalami penurunan seiring dengan peningkatan laju aliran gas, seperti pada gas uji hidrogen resistansi listrik film tipis semikonduktor GaN menurun secara tajam dari $1,5 \times 10^{-2}$ Ohm.cm menjadi 7×10^{-3} Ohm.cm bila laju aliran gas diperbesar dari 20 sccm hingga 150 sccm, dan ternyata sampel dalam lingkungan hidrogen memiliki nilai resistivitas yang lebih kecil dibandingkan dalam lingkungan nitrogen, hal tersebut menunjukkan bahwa sensor cukup sensitif terhadap gas hidrogen atau grup hidroksil dibandingkan dalam lingkungan gas nitrogen. Fenomena tersebut diduga terjadi karena film GaN memiliki cacat kekosongan (*vacancy*) Ga atau N yang dapat mengakibatkan terbentuknya permukaan hidroksil yang akan berkontribusi pada transfer elektron pada pita konduksi GaN (Yamazoe *et.al*,1992), sedangkan gas nitrogen memerlukan temperatur yang lebih tinggi dibandingkan hidrogen agar terbentuk gas yang reaktif terhadap proses pembentukan formasi permukaan nitrogen di atas film GaN. Seperti nampak pada Gambar 10 yang menunjukkan bahwa tingkat sensitivitas sensor terhadap gas hidrogen lebih besar dibandingkan terhadap gas nitrogen. Untuk gas uji 100 sccm tingkat sensitivitas sensor terhadap gas hidrogen sekitar 60 % sedangkan untuk gas nitrogen sekitar 50%.

Dari hasil pengujian terhadap sampel sensor gas tersebut maka dapat direkomendasikan bahwa sampel sensor gas yang terbuat dari film tipis GaN dengan teknik *spin coating* ternyata cukup sensitif terhadap gas uji hidrogen, sehingga sampel sensor gas tersebut dapat dikembangkan untuk dijadikan salah satu komponen dalam sistem pendeteksi kebocoran gas terutama gas-gas yang mudah terbakar. Sistem pendeteksi kebocoran gas tersebut sangat bermanfaat untuk keamanan di laboratorium maupun di lingkungan industri.

PENUTUP

Dari hasil karakterisasi terhadap sampel sensor gas yang terbuat dari film tipis semikonduktor GaN dengan menggunakan teknik *sol gel spin coating* dengan parameter penumbuhan: temperatur penumbuhan 850° C, laju *spinner* 1000 rpm, molaritas Ga₂O₃ 1,33 M dan laju aliran gas nitrogen 100 sccm, ternyata menunjukkan tingkat sensitivitas yang cukup baik terutama untuk pengujian terhadap gas nitrogen dan gas hidrogen. Sensitivitas sensor gas dalam lingkungan gas hidrogen sekitar 60 % lebih sensitif dibandingkan dalam lingkungan gas nitrogen sekitar 50 % untuk gas uji dengan laju aliran gas masing – masing 100 sccm. Dari hasil pengujian sampel sensor gas tersebut, maka dapat dikembangkan sebuah prototipe sensor gas untuk sistem pendeteksi kebocoran gas yang sangat bermanfaat untuk keamanan di laboratorium yang banyak menggunakan atau memanfaatkan gas.

DAFTAR PUSTAKA

- Akasaki, I. & Amano, H. 1994. Widegap Column-III nitride Semiconductors for UV. *J. Electrochem. Soc.* 141 (8) , 2266-2271.
- Dae, S.L., Jung, H.L., Yong, H.L. & Duk, D.L., 2003. GaN Thin Films as Gas Sensors. *Sensors and Actuators*, B89,305.
- Fertitta, K.G., Holmes, A.L., Neff, J.G., Ciuba, F.J. & Dupuis, R.D. 1994. High Quality GaN Heteroepitaxial Films Grown by MOCVD. *Appl. Phys. Lett.* 65 (14) ,1823-1825.
- Gopel, W. & Scierbaum, K.D. 1995. SnO₂ Sensors. *Sens. Actuators*, B26, 1-12.
- Kung, P., Saxler, A., Zhang, X., Walker, D., Wang, T.C., Ferguson, I. & Razeghi 1995, *Appl. Phys. Lett.*, 66 (22), 2958.
- Morrison, S.R. 1982. Semiconductor Gas Sensor. *Sens. Actuators 2* , 329-334.
- Shur, M.S., Bykhovski, R. A.D., Gasak & Khan, M.A. 1999, *MIJ-NSR*, Vol. 4s1, Art. G1.6.
- Sardar, K., Raju, A.R. & Subbanna, G.N. 2003. Epitaxial GaN films deposited on sapphire substrates prepared by the sol-gel method. *Solid State Comm.*, 125,355.
- Strite, S. & Morkoc, H. 1992. GaN, AlN and InN: a review. *J. Vac. Sci. Technol. B* 10(4), 1237-1263.
- Tansley, T.L, Goldys, M., Godlewski, M., Zhou, B., Zuo, H.Y. & Pearton, S.J 1997. The Contribution of Defect to the Electrical and Optical Properties of GaN. Vol. 2, *Amsterdam B.V. Published*, Netherland, 224 - 248.
- Yamazoe, N. & Miura, N. 1992. Same Basic Aspects of emiconductors Gas Sensors. *Chemical Sensor Technology*, Vol. 4, Elsevier, New York.